



FACULTAT DE CIÈNCIES
Secció de Ciències Ambientals

**ANÀLISI DEL DESENVOLUPAMENT
FLORAL D'UN ARBUST MEDITERRANI, LA
Globularia alypum, EN POBLACIONS
COSTANERES I CONTINENTALS**

Memòria del projecte de fi de carrera de Ciències
Ambientals

Presentada per Joan Tornel i Ezcurra

I dirigida per Marc Estiarte Garrofé

AGRAÏMENTS

Els meus agraïments van especialment adreçats a aquelles persones que han col·laborat per a què la realització d'aquest treball hagi estat possible.

Al meu tutor, Marc Estiarte, per dedicar part del seu temps a revisar i orientar el meu treball.

A Martí Boada i Joan Rieradevall, per la seva disposició per resoldre'm dubtes sempre que ho he necessitat.

A Josep Peñuelas, per haver-me obert la possibilitat de realitzar aquest projecte i haver-me posat en contacte amb el meu tutor.

A Lucia Galiano, per haver-me posat en contacte amb els professors del CREA.

Gràcies a tots i totes per la seva ajuda!

No voldria oblidar-me del suport de la meua família i de l'esforç que han fet per donar-me la possibilitat d'estudiar ni tampoc del suport dels amics, que m'han sabut escoltar i s'han interessat pel meu treball durant tot aquest temps.

Moltes gràcies!

ÍNDEX

1- INTRODUCCIÓ	9
2- ANTECEDENTS	
2.1. CLIMA MEDITERRANI I CANVI CLIMÀTIC	
2.1.1. Els climes de la Terra	15
2.1.2. El clima Mediterrani	16
2.1.3. Canvi climàtic global	17
2.2. EFECTES DELS CANVIS CLIMÀTICS SOBRE EL FUNCIONAMENT I L'ESTRUCTURA DELS ECOSISTEMES TERRESTRES MEDITERRANIS	18
2.2.1. Canvis en l'estructura i funció de l'ecosistema	19
2.3. LA FENOLOGIA	
2.3.1. Importància de la fenologia	21
2.3.2. Factors que condicionen els patrons fenològics	22
2.4. CANVI CLIMÀTIC I CANVI EN ELS PATRONS FENOLOÒGICS	24
2.5. <i>Globularia alypum</i> I LA FENOLOGIA DE FLORACIÓ	25
2.5.1. Característiques	26
2.5.2. Distribució	27
2.5.3. Floració	27
3- OBJECTIUS	29
4- MATERIALS I MÈTODES	33
4.1. MOSTREIG	35
4.2. DADES CLIMÀTIQUES	36
4.3. EMMAGATZEMATGE DE LES MOSTRES	36
4.4. DESCRIPCIÓ DELS DIFERENTS ESTADIS DEL DESENVOLUPAMENT FLORAL DE <i>Globularia alypum</i>	37
4.5. INDICADOR QUANTITATIU DE L'ESTADI DE DESENVOLUPAMENT FLORAL. MESURA DE LA BRÀCTEA INTERNA	43

4.6. INDICADOR QUANTITATIU DE L'ESTADI DE DESENVOLUPAMENT FLORAL. MESURA DEL PES SEC	43
4.7. ANÀLISI ESTADÍSTICA DELS RESULTATS	44
5- RESULTATS	45
5.1. DESCRIPCIÓ DELS RESULTATS	47
5.2. DISCUSSIÓ DELS RESULTATS	
5.2.1. Floració de tardor vers la d'estiu	51
5.2.2. Indicadors del desenvolupament floral de <i>Globularia alypum</i>	53
5.2.3. Possibles conseqüències d'un escalfament en el clima	54
6- CONCLUSIONS	57
6.1. PROPOSTES DE MILLORA	60
6.2. CAMPS A RECERCAR EN EL FUTUR	60
7- PROGRAMACIÓ TEMPORAL	61
8- PRESSUPOST	65
9- DOCUMENTACIÓ GRÀFICA	69
9.1. TAULES	71
9.2. FIGURES	72
9.3. ANNEXOS	
9.3.1. Annex 1	81
9.3.2. Annex 2	82
9.3.3. Annex 3	85
10- BIBLIOGRAFIA	89
10.1. Referències	91
10.2. Enllaços d'interès	93

1- INTRODUCCIÓ

1-INTRODUCCIÓ

En l'actualitat existeixen pocs aspectes del món natural que no s'hagin vist afectats per l'activitat humana. Avui, totes les societats es preocupen per com enfrontar-se als problemes ambientals i es plantegen la manera de contenir els danys que es deriven dels impactes que causen la indústria i la tecnologia modernes.

El canvi climàtic es preveu que comporti un escalfament d'entre 1,1°C i 6,4 °C, depenent de l'escenari socioeconòmic i de les emissions de gasos amb efecte hivernacle que en resultin (IPCC, 2007). A més, es preveu una disminució de les precipitacions i un augment de la variabilitat en la seva distribució temporal i espacial (De Luís *et al.*, 2001). Un clima més càlid i més eixut que afectarà l'estructura i el funcionament dels ecosistemes mediterranis, on l'activitat biològica ja està força limitada per l'aigua durant llargs períodes de l'any.

L'escalfament global del planeta es deriva de l'activitat humana i, per tant, de l'expansió del coneixement i de la tecnologia. La preocupació social i intel·lectual generada per les previsions sobre l'escalfament global han impulsat, des de fa uns anys, la investigació sobre aquest tema. En general, l'estudi del canvi climàtic es divideix en tres grups de treball: el de l'estudi de la pròpia ciència del canvi climàtic; el de l'estudi dels seus efectes i implicacions; i el de l'estudi de mesures mitigadores.

El cas de l'estudi dels efectes del canvi climàtic és molt ampli i implica diverses disciplines, entre les quals hi ha l'ecologia. Aquesta ciència fa anys que estudia els efectes que té el canvi climàtic sobre l'estructura i funcionament dels ecosistemes.

Els seus estudis aborden els efectes del canvi climàtic des de diferents aproximacions: des de l'escala d'organisme fins a la d'ecosistema, passant per la de comunitat. Alhora, també es tracta el tema des de diferents perspectives temporals, i s'utilitzen des de dades de registres històrics fins a seguiments sobre el comportament dels ecosistemes en l'actualitat o simulacions experimentals. Els registres històrics s'utilitzen per estudiar els efectes del clima passat. Les simulacions experimentals cerquen trobar els possibles canvis dels ecosistemes en un possible clima futur. Per la seva banda, el seguiment dels ecosistemes busca entendre com es comporten, en condicions naturals, les plantes amb el clima actual.

En el context del seguiment dels ecosistemes, els cicles biològics dels organismes estan íntimament relacionats amb les condicions ambientals en què es desenvolupen. La dinàmica de les activitats vegetatives i reproductives dels éssers vius, és a dir, la fenologia, inclou aspectes com l'aparició i la caiguda de les fulles, l'aparició de flors i fruits en vegetals, l'emergència

d'insectes o la migració d'ocells i papallones. Aquesta dinàmica depèn, en gran mesura, del clima i és, per tant, ben evident que es pot veure afectada pel canvi climàtic.

D'altra banda, en els climes amb una temporalitat contrastada les plantes han adaptat l'aparició de les diferents fases del seu cicle vital per tal d'aprofitar els períodes més favorables de l'any. Les condicions del clima mediterrani es caracteritzen per combinar uns estius càlids i secs amb uns hiverns amb temperatures moderadament baixes. Les baixes temperatures i els baixos nivells de llum són els factors que limiten l'activitat de les plantes durant l'hivern mentre que durant l'estiu és la sequera qui s'encarrega d'imposar-ne límits. La sequera dels mesos d'estiu divideix la temporada càlida en dues parts (Mitrakos 1980). La majoria de plantes Mediterrànies concentren el creixement i la floració durant els mesos de la primavera i moltes espècies reserven la formació del fruit a la tardor (Floret et al. 1989). Malgrat que la floració es concentra generalment al maig, un petit nombre d'espècies floreixen des de setembre fins a novembre i d'altre, fins i tot, al desembre i al gener (Floret et al. 1989).

La floració és la fase més visible del cicle reproductiu. El cicle reproductiu s'inicia amb la transició floral dels meristems, i continua amb la formació dels borrons florals, la floració, la formació del fruit i, finalment, la dispersió del fruit. La transició floral està regulada per senyals del desenvolupament i ambientals que asseguren que la planta iniciï la floració quan s'hagin acumulat recursos interns i quan les condicions ambientals siguin favorables (Reeves i Coupland 2000). Les principals condicions ambientals que sincronitzen la floració amb les estacions canviant són la temperatura i les hores de llum del dia (Simpson et al. 1999).

Globularia alypum L. (Plantaginaceae) és un nanofaneròfit que comprèn entre els 0,3 i 1 m d'alçada. Presenta fulles esclerofil·les, viu en ambients calcaris i és típica de matollars termòfils. La seva principal àrea de distribució és l'Oest mediterrani, des de La Provença fins al sud del Marroc i també ocupa determinades àrees de la part Est i Central de la regió Mediterrània (de Bolòs i Vigo 1995). A Catalunya ha estat descrita des del nivell del mar fins als 1000 m amb poblacions a les àrees fredes dels càlids vessants sud.

La floració de *G. Alypum* té lloc, principalment, als meristems apicals dels dolícblasts. Una població estudiada durant diversos anys propera a la costa catalana floreix a finals de l'estiu – principis de la tardor (Prieto et al. 2008) mentre que en gran part de la seva àrea de distribució la floració està descrita des de febrer fins a maig (de Bolòs i Vigo 1995). El període comprès entre la primera i la última població que floreix en aquesta regió arriba, doncs, als 8 mesos. Un període molt llarg tenint en compte que el moment de floració influeix en l'èxit de la polinització, l'èxit de la maduració del fruit i d'una progènie de qualitat així com dels nivells de llavor i herbivoria del fruit (Chuine 2010).

La fenologia ha estat considerada com una característica que contribueix a l'adaptació local de les espècies. Aquesta consideració s'ha deduït com a

conseqüència de l'existència de patrons en la fenologia de les plantes correlacionats amb variables ambientals. Alhora, també s'ha deduït arran del fet que s'han trobat similituds en la fenologia de les espècies que viuen en eco-regions semblants (Chuine et al. 2010). Les diferències en la fenologia de la floració que sembla que existeixen en les poblacions de *G.alypum* representen un gran canvi en la distribució de les fases del cicle vital i, probablement, influencien en el rendiment de la planta i tenen implicacions ecològiques significatives.

En aquest treball s'explora la fenologia de la floració en diferents poblacions situades en una regió amb un gradient latitudinal petit. Les poblacions descansen en un abast màxim de 1° 28' de diferència de longitud i un abast màxim de 2° 11' de diferència de latitud. Aquest fet garanteix que entre les localitats estudiades no hi van haver diferències pel que fa a les hores de llum del dia i, per tant, que les causes de les diferències de moment de floració van ser climàtiques, llevat que hi haguessin diferents ecotips amb fenologies de floració diferent. L'objectiu del treball és conèixer millor els patrons geogràfics de la floració i de tot el cicle reproductiu de la *G.alypum* per relacionar-lo amb els factors que els puguin causar, posant èmfasi en les variables climàtiques.

2-ANTECEDENTS

2-ANTECEDENTS

2.1 Clima mediterrani i canvi climàtic

2.1.1.Els climes de la Terra

El clima i la meteorologia sovint són àrees que generen confusió. La seva principal diferència és l'escala. Així, el temps meteorològic s'organitza en escales temporals i espacials curtes i el clima (o estadi promig del temps) s'articula al voltant d'escales temporals i espacials més grans. L'objectiu de la meteorologia és estudiar qualsevol fenomen produït en l'atmosfera terrestre mentre que el de la climatologia és resumir les propietats estadístiques dels diferents components de l'atmosfera.

Aquesta diferència és important perquè les escales meteorològiques estan dominades pels processos estocàstics i dinàmiques caòtiques mentre que les escales climàtiques són més estables. Això fa que el clima pugui ser predit més fàcilment que no pas el temps meteorològic.

El clima permet fer prediccions de l'ordre de dècades i, en determinats paràmetres, de l'ordre de segles i mil·lenis. El clima descriu els períodes glacials i interglacials i alguns factors climàtics tenen influència sobre les comunitats vegetals.

El principal factor que determina el clima d'una regió són els fluxos de masses d'aire així com les interaccions d'aquests fluxos amb altres compartiments. Per tant, la descripció de les masses d'aire i dels seus fluxos a escala global és bàsica per construir una classificació de les regions segons l'origen dels fenòmens que donen lloc a cada clima (Rodó i Comín, 2000).

No obstant, existeixen regions amb masses d'aire de distinta procedència i distinta naturalesa. Aquesta confluència de masses d'aire és molt intensa a la zona equatorial i tropical i força significativa a la zona temperada de la Terra. En aquesta última conflueixen les masses d'aire tropicals que es desplacen cap als pols i les d'origen polar que ho fan cap a l'equador. És també en aquestes zones temperades on la variabilitat climàtica, tant espacial com temporal és molt més difícil de detectar que en altres zones de la Terra.

La regió Mediterrània es troba en aquesta zona temperada, just per sobre del cinturó subtropical i, per tant, es caracteritza per mostrar una gran variabilitat climàtica a escales interanuals.

Així mateix, en la regió Mediterrània, la influència de la relació entre les masses d'aigua mediterrànies i l'atmosfera amb la qual està en contacte és equiparable a la relació entre els oceans i l'atmosfera, encara que a una escala

menor atesa la dimensió més reduïda del mar Mediterrani (Rodó i Comín, 2000).

2.1.2. El clima Mediterrani

El clima mediterrani es considera un clima de transició entre les condicions de la zona subtropical desèrtica i les condicions de la zona temperada. Aquest clima s'ha descrit tradicionalment com un clima d'estius secs i càlids i d'hiverns moderadament freds i humits, amb unes temperatures anuals entre els 5°C i els 15°C i una pluviometria anual d'entre els 100 i els 2500 mm.

Els mesos de ple estiu (de Juliol a Setembre principalment) es caracteritzen pel domini de les condicions seques i càlides. Aquestes condicions estan regides per una zona d'altres pressions que es prolonga des de l'anticicló subtropical de les Açores i que afecta de ple a la regió Mediterrània. A l'Octubre, generalment, s'inicia una estació humida associada a canvis en els patrons troposfèrics habituals, principalment en els fluxos de les masses d'aire. L'hivern és una estació de gran inestabilitat, associada a una elevada freqüència de pas de borrasques. En aquesta època és habitual la formació d'una baixa pressió en el Mediterrani i d'altres pressions a l'Est que s'associen amb una alta pressió de la Sibèria. Finalment, la primavera (de març a maig) és una època plujosa que es caracteritza per un flux continu de les masses d'aire des de posicions meridionals cap al nord.

No obstant, en la zona mediterrània, aquestes generalitzacions en els patrons de precipitacions estacionals estan altament condicionades per la complexa orografia de cada regió. Les principals regions ciclogèniques es poden trobar a la zona de l'Atles els mesos de primavera i a la dels Alps els mesos de tardor i hivern. Així mateix, existeixen altres centres de notable activitat per la zona de Grècia i a l'extrem Est del Mediterrani. Les trajectòries originades per aquests centres d'activitat ciclogènica tendeixen a anar cap a l'Est, tot i que també són freqüents algunes incursions cap al nord (implicant-hi la zona de Catalunya) des del Nord d'Àfrica.

En qualsevol cas, la característica més notable del clima mediterrani és la seva variabilitat temporal i espacial. Es pot diferenciar la variabilitat segons si és d'alta freqüència (estacional) o bé si és interanual. La variabilitat estacional (dins de cada estació) està determinada per fenòmens meteorològics de petita escala espacial així com per l'elevada complexitat orogràfica existent. La variabilitat interanual, en canvi, és de tipus extraordinari i, per tant, és difícil modelitzar-la, ja sigui pels canvis en la intensitat i amplitud temporal dels diferents fenòmens meteorològics com per la seva imprevisibilitat. Aquest tipus de variabilitat està determinada per la variabilitat de la circulació atmosfèrica regional i, fins i tot, global.

Sigui com sigui, la variabilitat interanual de la precipitació és, en general, inversament proporcional amb la seva mitjana anual. Això vol dir que els indrets amb una mitjana pluviomètrica anual menor acostumen a tenir un coeficient de

variabilitat relativa interanual major. Aquest últim paràmetre – la variabilitat interanual- és un dels que s'utilitzen per definir els diferents tipus de subclimes mediterranis.

D'altra banda, la variabilitat del clima té efectes sobre els ecosistemes. Es pot afirmar que la variabilitat climàtica és un dels principals factors controladors del funcionament ecològic dels ecosistemes terrestres mediterranis, en els quals la disponibilitat d'aigua és un recurs limitant.

Les causes d'aquesta variabilitat climàtica mediterrània estan lligades a fenòmens d'àmbit global. Per exemple, existeixen variacions en la circulació atmosfèrica que són causades per alteracions en les interaccions dels components del sistema climàtic. Concretament, existeixen alteracions en l'acoplament entre l'oceà i l'atmosfera o entre aquesta i la criosfera que diversos estudis relacionen amb les anomalies climàtiques (Rodó i Comín, 2000).

La regió mediterrània es caracteritza per una distribució complexa de les masses d'aigua i de terra i carenes de muntanya. Això fa que les interaccions entre l'oceà i l'atmosfera siguin també complexes.

2.1.3.Canvi climàtic global

El planeta està instal·lat en el canvi. Molts dels grans canvis que s'han produït ho han fet a escala geològica i han durat milions d'anys.

A finals del segle XVII l'espècie humana va començar a utilitzar combustibles fòssils que la Terra havia acumulat al subsòl durant la seva història geològica. La crema de petroli, carbó i gas natural ha causat un augment del CO₂ a l'atmosfera que en els darrers temps és d'1,4 ppm cada any. Aquest augment del CO₂ produeix un augment de la temperatura.

L'actual canvi al qual es veu sotmès el planeta és un canvi accelerat del clima en poques dècades (Peñuelas 1993).

En qualsevol cas, al llarg de les darreres dècades el planeta ha vist com ha crescut exponencialment la població de l'espècie humana. La nostra espècie utilitza molts recursos naturals i energia per dur a terme activitats no biològiques i, per tant, exosomàtiques, com ara el transport i la indústria. Per dur a terme aquestes activitats fins ara s'han utilitzat els combustibles fòssils. Com a conseqüència, l'increment de la població humana a la Terra ha donat lloc a canvis de caràcter global. Entre aquests canvis destaquen:

- a) Canvis de la composició atmosfèrica, especialment un increment de CO₂ i altres gasos hivernacle, com ara el metà (CH₄), l'ozó (O₃) o els gasos de nitrogen.
- b) Canvis en el clima, principalment un major escalfament.
- c) Canvis en els usos del sòl (abandonament de cultius, fragmentació d'hàbitats i sobreexplotació).

- d) Pèrdua de biodiversitat.
- e) Augment de l'eutrofització (fertilització) de la biosfera.
- f) La pèrdua de l'ozó estratosfèric (amb el consegüent augment de la nociva radiació ultraviolada).

De tots aquests canvis, el canvi atmosfèric global per excel·lència és l'augment de CO₂ atmosfèric. La concentració d'aquest gas ha augmentat un 30% des de finals del segle XIX com a conseqüència, en gran part, de la crema de combustibles fòssils, però també, en una part considerable, de la deforestació i dels canvis en els usos del sòl (Peñuelas 1993, IPCC 1996).

L'augment del CO₂ i altres gasos hivernacle, com ara el metà, tenen la característica que absorbeixen la radiació infrarroja que emet la Terra cap a l'espai exterior. Com a conseqüència de l'augment de la seva concentració es produeix un augment de l'absorció d'aquesta radiació. Això fa que tots els models prevegin un clima més càlid per a les properes dècades (IPCC 1996). En aquest sentit, de moment ja s'ha produït un increment de temperatura de gairebé 1°C en el darrer segle (IPCC 2000) en paral·lel a l'augment de la concentració d'aquests gasos.

Paral·lelament, molts models de circulació global preveuen un increment de temperatura de 3°C per a mitjan sXXI. Aquesta previsió es pot veure incrementada en determinades regions seques a causa de l'elevada evapotranspiració que comporten aquestes condicions.

En qualsevol cas, tots aquests canvis estan relacionats entre ells i no tenen precedents en la història humana. A més, com que s'estan produïnt molt ràpidament, estan afectant el funcionament dels ecosistemes de manera complexa.

No obstant, existeix força incertesa i desconeixement sobre la magnitud i la direcció dels efectes d'aquests canvis.

2.2. Efectes dels canvis climàtics sobre el funcionament i l'estructura dels ecosistemes terrestres mediterranis

Els canvis atmosfèrics i climàtics poden afectar de manera important el funcionament i l'estructura dels ecosistemes, especialment els mediterranis.

Els ecosistemes mediterranis són menys coneguts i més variables que altres ecosistemes, com ara els de les zones temperades, perquè han estat menys estudiats i són més diversos. Com ja s'ha comentat anteriorment presenten una gran variabilitat climàtica, una gran complexitat topogràfica, uns gradients molt marcats en els usos del sòl i en la disponibilitat d'aigua i una gran biodiversitat. Segurament per tots aquests factors són especialment sensibles als canvis atmosfèrics i climàtics, a banda de ser sensibles als canvis d'ús del sòl així com als canvis demogràfics i econòmics.

Es poden trobar una gran diversitat d'efectes dels canvis atmosfèrics sobre la vegetació i els ecosistemes. Cadascun dels canvis que es produeixen en la composició de l'atmosfera i en el clima té els seus efectes sobre la vegetació i sobre els ecosistemes. Aquests no tenen per què ser els mateixos, però poden estar relacionats.

2.2.1. Canvis en l'estructura i funció de l'ecosistema

Tots aquests canvis alteren la biogeoquímica i el funcionament dels ecosistemes. Com a resultat també poden ser afectades l'estructura de la comunitat i la biodiversitat ja que és molt difícil que els centenars de milers d'espècies i genotips responguin tots de la mateixa manera a aquests canvis. A llarg termini (en dècades o segles) aquests canvis poden alterar l'abundància d'espècies i la composició de la comunitat. Aquesta cojuntura encara afectaria més el funcionament de l'ecosistema.

Efectes ecològics globals

A escala global existeixen evidències dels efectes ecològics del canvi climàtic. Entre elles cal destacar l'augment de l'oscil·lació del CO₂ durant les darreres dècades. Això s'interpreta com un dels resultats de l'increment de l'activitat de la vegetació de l'hemisferi nord (Keeling et al. 1996). Aquest increment d'activitat és conseqüència de l'increment de l'activitat fotosintètica resultant de la major disponibilitat de CO₂, així com de la prolongació de l'estació de creixement. De fet, els estudis fenològics de les espècies caducifòlies proporcionen una evidència més que existeix aquest allargament de l'estació de creixement a Europa. Aquesta prolongació és de 10 dies i s'ha produït en els últims 40 anys (Menzel i Fabian 1999).

Els canvis en el clima també tenen efectes sobre els animals, ja que el seu hàbitat està, en gran part, determinat pel creixement i la dinàmica poblacional de les plantes dominants. Per tant, si es produeixen canvis estructurals en la vegetació d'un ecosistema també es modificarà la distribució de moltes espècies d'animals. De fet, existeixen desplaçaments detectats en 34 espècies de papallones europees que semblen estar relacionats amb el canvi climàtic antropogènic (Parmesan et al. 1999). Alhora, també s'hi relaciona l'extinció de nombroses poblacions d'amfibis (Pounds et al. 1999) així com avançaments en l'època de creixement de diverses espècies d'amfibis i aus migratòries apreciats en les darreres dècades (Forchhammer et al. 1997).

A més a més, els canvis en la temperatura també alteren determinades funcions en els animals. Entre aquestes funcions hi ha el comportament parental (especialment crític quan l'aliment i l'aigua escassegen), els processos reproductius (incloent-hi la fertilitat i la fecunditat), la capacitat de les aus de mantenir la temperatura adequada per als embrions així com la determinació del sexe dels rèptils. A més a més, l'increment de les temperatures pot fer augmentar els paràsits i les malalties.

Així mateix, l'escalfament global també afecta els microorganismes. No obstant, la gran quantitat de factors que s'alteren amb el canvi climàtic fa que encara no hi hagi consens sobre els efectes que poden ocasionar.

Efectes sobre els ecosistemes mediterranis

En els ecosistemes mediterranis sembla que el canvi climàtic ja ha arribat i, com en moltes altres regions, ha tingut més conseqüències de nit que no pas de dia (Easterling et al. 1997).

Sigui com sigui, contràriament amb allò que succeeix en el nord d'Europa, en el clima mediterrani les precipitacions han disminuït. Concretament ho han fet en un 20% al llarg del segle XX.

Moltes localitats i regions mediterrànies són avui més càlides i més seques que en dècades anteriors. Concretament a Catalunya la temperatura ha augmentat 0,10 °C per dècada mentre que l'evapotranspiració ho ha fet 13 mm en el mateix interval de temps. A més, els episodis de sequeres extremes com les del 1985, 1994 o 2008 són cada cop més freqüents.

Com s'explica més amunt, els 3°C d'increment global de temperatura que preveuen els models de circulació per a mitjan sXXI es poden veure agreujats en la regió mediterrània.

Si s'accentuen les condicions més càlides i àrides en les properes dècades, els efectes sobre els ecosistemes mediterranis seran significatius.

En primer lloc, la menor disponibilitat d'aigua limitarà encara més la Producció primària neta (PPN). Alhora, l'increment de la temperatura podrà afavorir tant la fotorrespiració com la respiració la qual cosa reduirà encara més aquesta PPN. Al seu torn, l'escalfament i la sequera afavoreixen els incendis, per la qual cosa es preveu un increment de la seva freqüència i de la seva intensitat. Aquest fenomen augmentaria les pèrdues de carboni i disminuïria encara més la PPN. Per la seva banda, l'increment de temperatura també afavoreix l'augment de les emissions de COV's la qual cosa implica més les pèrdues de carboni.

2.3. La fenologia

Entre els efectes que els canvis atmosfèrics i climàtics poden ocasionar sobre els ecosistemes mediterranis es troben aquells que alteren la fenologia dels organismes.

La fenologia és la dinàmica de les activitats vegetatives i reproductives dels éssers vius i inclou aspectes com ara l'aparició i la caiguda de les fulles, l'aparició de flors i fruits en vegetals, l'emergència d'insectes o la migració d'ocells i papallones . El moment i durada dels esdeveniments fenològics o fenofases depenen del clima de cada regió.

Els factors que desencadenen l'inici i la durada de les fenofases, poden ser exògens, com ara la temperatura o el fotoperíode, o bé endògens, com ara els canvis d'hidratació de les tiges o el moment en què s'omplen els vasos del xilema. (Kramer *et al.* 2000).

2.3.1. Importància de la fenologia

En els climes temperats la seqüència anual de fenofases de les plantes llenyoses està clarament relacionada amb l'estacionalitat del clima, principalment amb la variació estacional de la temperatura i del fotoperíode (Rathckle i Lacey 1985). És per aquest motiu que la majoria d'espècies llenyoses acostumen a realitzar les mateixes fenofases en els mateixos moments de l'any. Aquesta sincronia fenològica que s'observa en moltes espècies de diferents comunitats vegetals pot pressuposar l'existència d'un ajustament fenològic precís amb l'estacionalitat del clima. (Lieth 1974). No obstant, aquest ajustament no és fàcil de trobar en el clima mediterrani, que presenta dos períodes anuals d'estrés (hivern i estiu) que divideixen l'estació favorable per al creixement vegetal (Mitrakos 1980). A més, cal tenir en compte que aquest clima té una gran variabilitat interanual cosa que limita la regularitat i durada dels períodes favorables. Això fa encara més difícil que existeixi l'ajustament fenològic de les fenofases amb l'estacionalitat del clima (Mooney i Dunn 1970). És possible que les limitacions del clima mediterrani afavoreixin la coexistència de diferents tipus fenològics en moltes comunitats de plantes llenyoses mediterrànies. Això contrasta amb la relativa homogeneïtat fenològica de les comunitats de caducifolis dominants als paisatges centreeuropeus.

L'ajustament fenològic a l'estacionalitat del clima té una gran importància adaptativa, molt especialment en el cas d'un clima com el mediterrani, gens fàcil per al creixement vegetal (Castro-Díez i Montserrat-Martí 1998). De fet, molts estudis fenològics realitzats a la Regió Mediterrània s'han dirigit a explicar les causes de l'ocurrència de la floració, la fructificació i el creixement vegetatiu en determinats períodes de l'any i aquestes causes s'han atribuït a adaptacions a factors biòtics i abiòtics.

Així mateix, des d'una perspectiva funcional es considera la fenologia com un caràcter adaptatiu fonamental ja que la durada i ocurrència del creixement vegetatiu i de l'activitat reproductora en el temps estan relacionats amb les estratègies d'assimilació i ús del carboni en les plantes llenyoses mediterrànies. (Mooney *et al.* 1977).

Un altre aspecte que ha motivat molta investigació científica en les últimes dècades - en el qual s'emmarca aquest estudi- és la flexibilitat d'ocurrència de les fenofases en el temps, molt especialment com a resposta al canvi climàtic global. Durant les últimes dècades s'ha produït un avançament significatiu de les dates de brotació i inici d'altres fenofases en algunes espècies d'arbres europeus, així com un endarreriment no tan evident dels esdeveniments que tenen lloc a la tardor (Menzel 2000, Peñuelas *et al.* 2002).

Les plantes són organismes molt integrats. Els seus òrgans realitzen diverses funcions que estan ben coordinades amb el funcionament de la resta de parts de la planta (Harper 1977). Aquest fet suggereix que les fenofases que tenen lloc al llarg de l'any en cada individu ho fan en perfecta coordinació entre elles. A aquest fet se li ha de sumar que el mode de distribució de les fenofases al llarg de l'any (patró fenològic) ha d'estar suficientment adaptat a les condicions ambientals per tal d'assegurar la supervivència de la planta.

2.3.2. Factors que condicionen els patrons fenològics

Comprendre els factors que controlen la fenologia de la vegetació és essencial per entendre els possibles canvis futurs que puguin anar associats als canvis previstos en el clima.

L'origen filogenètic de les espècies

La diversificació taxonòmica i de formes de creixement pot contribuir a incrementar la diversitat de patrons fenològics en les comunitats vegetals.

L'anàlisi dels patrons de floració de diferents flores ha posat de manifest que les espècies de diferent família taxonòmica tenen temps de floració significativament distints. Això concorda amb la idea que els períodes de floració (i altres aspectes fenològics) són característiques relativament estables de les famílies (Montserrat Martí G et al. 2004). En realitat el temps d'ocurrència de diverses fenofases està molt condicionat per restriccions filogenètiques. Concretament està condicionat per l'ontogènia (desenvolupament embrionari i postembrionari) i l'arquitectura de l'organisme (Montserrat Martí G et al. 2004). Per exemple, l'estructura en la qual es desenvolupin les inflorescències condicionarà el fet que la floració tingui lloc abans o després del creixement vegetatiu. No és el mateix que les inflorescències es desenvolupin a l'extrem distal de les branques llargues (dolicoblasts) que no pas que ho facin a la seva part axil·lar. En el primer cas el creixement vegetatiu es produeix abans que la floració (perquè el dolicoblast ha de créixer abans que es formi la inflorescència). En el segon cas les gemmes axil·lars són les reproductives de manera que la floració es produeix abans que el creixement vegetatiu dels dolicoblasts.

Això pot fer pensar que les característiques filogenètiques determinen el comportament fenològic de les espècies de manera rígida. No obstant, l'ocurrència i la durada de les fenofases no són estrictament invariables ja que els programes de desenvolupament de les plantes són flexibles (Montserrat Martí G et al. 2004). Així mateix, les limitacions que puguin imposar l'ontogènia i l'arquitectura no són insuperables davant d'un potencial canvi evolutiu del temps d'ocurrència de les fenofases. De fet, les espècies d'un mateix gènere poden mostrar patrons fenològics força diferents. Per exemple, les gemmes vegetatives i reproductives de *Pistacia terebinthus* s'acostumen a obrir simultàniament mentre que les gemmes reproductives de *Pistacia lentiscus* s'obren diverses setmanes abans que les vegetatives, cosa que genera patrons

fenològics ben diferenciats (Montserrat Martí G et al. 2004). Aquestes diferències suggereixen que l'evolució pot modificar el patró fenològic i que aquesta modificació és suficient com per flexibilitzar les limitacions que imposa la filogènia. Alhora, suggereixen que a banda dels filogenètics, poden existir altres factors que influeixin en els patrons fenològics.

El clima

El clima és un dels factors exògens que determina l'inici i la durada de les fenofases. El clima mediterrani exerceix un control sobre la vegetació mitjançant l'efecte combinat de dos períodes anuals d'estrés (l'hivern i l'estiu). La intensitat d'aquests períodes d'estrés defineix situacions molt diferents en el paisatge vegetal. Alhora, determina la dominància dels principals tipus fenomorfològics de la flora llenyosa mediterrània.

Els factors climàtics que exerceixen un control de la fenologia en les plantes són diversos. La temperatura és un dels factors més importants (Peñuelas *et al.*, 2002). L'escassa disponibilitat d'aigua, per la seva banda, n'és un altre, i s'associa amb retards en la floració així com amb una disminució en la producció de flors i fruits (Llorens i Peñuelas, 2005;

A més, el domini dels tipus fenomorfològics i la diversitat de les comunitats en la regió mediterrània depèn tant del clima com de l'ús al qual s'ha sotmès cada sòl (Montserrat Martí G et al. 2004).

La durada dels dos períodes favorables per al creixement vegetal en els climes mediterranis (la primavera i la tardor) varia segons la zona. La Regió Mediterrània pot contenir diferents fitoclimes, diferents profunditats del sòl, diferent topografia, alhora que existeix una notable variabilitat climàtica interanual. Les plantes perennes han de resistir cicles de diversos anys de sequera o hiverns excepcionalment freds. Les condicions ambientals del clima mediterrani són complexes i això possiblement justifica la coexistència de diferents patrons fenològics en aquest clima. Això es manifesta tant entre les formes de creixement diferents com dins d'aquestes.

Els tipus fenomorfològics més comuns en la Regió Mediterrània són els següents:

- Caducifolis de clima temperat:

Són aquells que apareixen quan l'aridesa estival és baixa, però el fred hivernal és alt. Formen paisatges semblants als dels climes temperats amb domini d'arbres caducifolis. Aquestes espècies estan molt adaptades a l'estacionalitat típica de les regions temperades, que presenten un sol període anual d'estrés climàtic: l'hivern (Chabot i Hicks 1982). Són plantes heteromorfes estacionals (presenten aspectes diferents al llarg de les diferents estacions de l'any) i no s'acaben d'ajustar gaire bé al clima mediterrani ja que no toleren gaire bé l'estrés hídric de l'estiu (Orshan *et al.* 1989). És per això que

aquestes espècies a Catalunya s'acostumen a trobar en zones muntanyoses a partir de certa alçada.

- Perennifolis isomorfs estacionals:

Es tracta d'un tipus fenomorfològic que aguanta millor l'estrés estival que no pas l'anterior. Dins d'aquest domini es troben els arbres i arbustos perennifolis (el *Quercus ilex*, el *Quercus coccifera* o l'*Arbutus unedo*), que són plantes isomorfs estacionals, és a dir, presenten un aspecte i una quantitat de fullatge verd similar al llarg de totes les èpoques de l'any (Orshan *et al.* 1989). Són plantes que mantenen la producció fotosintètica durant tot l'any excepte en casos d'estrés molt sever (Mooney *et al.* 1989).

L'estratègia dels isomorfs estacionals, malgrat que les espècies amb aquest tipus fenomorfològic hi estan molt presents, tampoc s'ajusta perfectament a la forta estacionalitat del clima mediterrani. Això es deu a que aquestes espècies, per sobreviure en aquest clima, requereixen la presència de mecanismes d'evasió de l'estrés que són energèticament molt costos per a la planta (Orshan *et al.* 1989). Per exemple, el manteniment del fullatge verd durant els estius i hiverns mediterranis exigeix que les plantes disposin d'arrels profundes i fulles resistents (Mooney i Dunn 1970).

- Perennifolis heteromorfs estacionals:

Aquest és un tipus fenomorfològic molt ben adaptat als casos en què l'estrés estival és molt alt. Acostument a ser plantes de mida petita així com camèfits perennifolis que solen presentar dimorfisme foliar en diferents tipus de branques. També poden tenir fulles capaces d'enrotllar-se a l'estiu i recuperar la seva forma normal en rehidratar-se (Margaris 1981). El *Thymus vulgaris*, algunes cistàcies, o plantes del gènere *Lavandula sp.* en són alguns exemples.

Aquesta és l'estratègia que es considera que s'ajusta millor a l'estacionalitat del clima mediterrani (Orshan *et al.* 1989).

- Caducifolis estivals:

Es tracta de plantes heteromorfs estacionals (presenten aspectes diferents al llarg de les diferents estacions de l'any), que, en aquest cas, perden el fullatge durant l'estació seca. Aquestes plantes generalment desenvolupen les branques i floreixen un cop s'ha produït l'abscisió foliar en el període sec (Mooney *et al.* 1977, Borchert 1983). Sembla ser que les espècies que desenvolupen aquesta estratègia tenen un origen tropical, és a dir, estan adaptades a climes amb un únic període anual d'estrés: l'estiu. Per tant, són espècies que requereixen hiverns temperats per la qual cosa són escassos a la Regió Mediterrània.

2.4. Canvi climàtic i canvis en els patrons fenològics

Els cicles biològics dels organismes estan íntimament relacionats amb les condicions ambientals en què es desenvolupen. La dinàmica de les activitats vegetatives i reproductives dels éssers vius, és a dir, la fenologia depèn, en gran mesura, de la temperatura i és, per tant, ben evident que es pot veure afectada pel canvi climàtic.

L'estudi de la fenologia de les plantes és important per entendre les respostes de la vegetació al canvi climàtic. Una millora en el coneixement de la distribució geogràfica dels patrons fenològics així com la seva relació amb el clima ha de millorar la predicció sobre els seus efectes (Schwartz, 1999; Kramer *et al.* 2000; Peñuelas i Filella, 2001; Hollister *et al.*, 2005; Menzel *et al.*, 2006).

Diversos estudis han demostrat que les fenofases (la germinació, la brotació o la floració) són particularment sensibles a la temperatura i s'ha comprovat que a Europa, en el darrer segle, han anat avançant progressivament el seu inici (Menzel, 2000; Peñuelas i Filella 2001; Schwartz *et al.*, 2006). Hi ha informacions que han detectat un increment d'1,4°C en la temperatura mitjana de la zona mediterrània de Catalunya. Aquest increment de temperatura hauria avançat l'obertura de les fulles al voltant de 16 dies en aquesta regió (Peñuelas *et al.*, 2002). Alhora, també s'han realitzat estudis que han revelat un avançament dels esdeveniments típics de la primavera i de l'estiu (la germinació de les llavors, la floració i la fructificació) en tot el continent europeu. De mitjana, aquest avançament és de 2,5 dies per dècada (Menzel *et al.* 2006). També s'han estudiat les possibles alteracions de les fenofases típiques de la tardor, però els resultats no han estat tan concloents com per les de la primavera. Malgrat que hi ha certa evidència sobre un retard en l'arribada de les fases fenològiques de la tardor, no hi ha prou consens sobre els seus patrons (Menzel, 2000; Peñuelas *et al.*, 2002; Gordo i Sanz, 2005).

Els canvis en la fenologia de la floració, ja sigui en forma d'avançament o bé d'endarreriment, pot tenir diverses conseqüències. En primer lloc, pot produir un desacoplament de les interaccions interespecífiques, com ara entre les plantes i els seus polinitzadors. Alhora, pot alterar relacions competitives així com alterar l'abundància en les zones de distribució, per exemple propiciant un canvi en el reclutament de llavors (Gordo i Sanz, 2005). Per tant, els canvis en la fenologia de la floració produeix un seguit de reajustaments que poden induir canvis importants en l'estructura, la composició i el funcionament de l'ecosistema (Peñuelas i Filella, 2001). Aquests canvis, alhora, poden implicar importants conseqüències socioeconòmiques arreu del món.

Sigui com sigui, una millora en el coneixement sobre com es distribueixen geogràficament les poblacions segons els patrons fenològics així com la relació

que això té amb el clima pot millorar les prediccions sobre els efectes del canvi climàtic (Peñuelas i Filella, 2001; Menzel *et al.*, 2006).

2.5. *Globularia alypum* i la fenologia de la floració

Globularia alypum és una espècie històricament inclosa a l'antiga família de les Globulariàcies, una família que a mesura que s'ha avançat en els coneixements genètics i, amb l'objectiu de caracteritzar grups monofilètics al més ampli possible d'acord amb la informació derivada d'anàlisis filogenètics amb tècniques cladistes i basats en caràcters moleculars, ha perdut valor taxonòmic i s'integra dins la família Plantaginaceae, una família subcosmopolita que comprèn al voltant de 114 gèneres i 2100 espècies, des de plantes herbàcies anuals o perennes, excepcionalment aquàtiques (com ara *Litorella*, *Callitriche* o *Hippuris*) fins a petites mates o arbustos. Plantaginaceae s'inclou en l'ordre de les Lamials i, alhora, al superordre Lamianae, la subclasse Ranunculidae i la subdivisió Magnoliophytins (tradicionalment anomenada de les Dicotiledònies) de les plantes amb flor (Angiospermes).

2.5.1. Característiques

Globularia alypum és una mata llenyosa, perenne, amb ramificacions de tendència erecta d'uns 40-60 cm d'alçària de mitjana. Les tiges són erectes o erecto-patents, clarament solcades i amb fulles esparses sobre seu. Les fulles, atenuades en pecíol molt curt, tenen una mida de 1,5-2,5 x 0,3-0,6 cm, són solitàries o bé fasciculades en curts braquiblasts, de forma més aviat el·líptica o lanceolades, agudes, apicalment mucronades, uninervades, coriàcies, glabres, de marges enters (o bé amb un parell de dents laterals) i amb una coloració verd grisenc (a causa d'unes superfícies cobertes de concrecions puntiformes de CaCO₃). La seva flor és composta i forma una inflorescència en capítol d'uns 1-3 cm de diàmetre; els capítols són terminals i de vegades també laterals, blau-lilosos, amb bràctees externes de 6 mm, ovades, obtuses i arrodonides a l'apex, que en el seu conjunt formen l'involucre; les bràctees internes, herbàcies, linears i llargament acuminades destaquen, sobretot, per la seva pilositat; les flors són pentamèriques, zigomorfe i hermafrodites, amb un periant doble integrat per un calze de 3,5 mm amb 5 dents iguals, filiformes, ciliades i soldades per la base, i una corol·la de 7 mm, gamopètala i bilabiada (amb un llavi superior inexistent o amb dos lòbuls molt curts i un llavi inferior trilobulat); l'androceu està constituït per 4 estams amb anteres i filaments de 3,5 mm; les anteres posseeixen dues teques biloculars que s'obren a la maduresa arran de dues escissions longitudinals i alliberen, així, grans de pol·len aa2-7-colpats, amb exina reticulada; el gineceu és súper, unilocular i amb un únic primordi seminal (Fig.2). El fruit és indehiscent.

2.5.2. Distribució

Globularia alypum és una mata de distribució típicament mediterrània. Es pot trobar a penya-segats costaners, matollars, pinars, etc., sobre sòls calcaris, margues, guixos, així com terrenys argilosos. S'acostuma a trobar a contrades marítimes d'hivern temperat, entre els 25 i 900 m d'alçada. Es pot trobar a tota la regió mediterrània, les Illes Balears i Madeira. A Catalunya es troba a les comarques marítimes (del Rosselló al Montsià) tot i que és rara a les contrades silícies; penetra fins a la Fenolleda, a la Garrotxa, a Osona, al Berguedà, a l'Alt Urgell, a la Segarra, a la Conca de Barberà, etc.); a l'interior es troba tant al Segrià com al Baix Cinca; també es pot trobar als Prepirineus (Pallars Sobirà, Pallars Jussà i la Noguera). Al País Valencià es troba a les contrades d'hivern temperat del terreny catalanídic (Baix Maestrat, etc.) al terreny diànic (la Marina Baixa, l'Alacantès, etc.) així com al terreny lucèntic (l'Alacantès, Baix Vinalopó, etc.); penetra fins a l'Alcalatén, a la Foia de Bunyol, a la Vall de Cofrents, etc. A les Illes Balears, per la seva banda, és present a Mallorca, Menorca, Eivissa i Cabrera (Fig. 3).

2.5.3. Floració

La floració de *G. alypum* té lloc, principalment, als meristems apicals dels dolíoblasts. Una població estudiada durant diversos anys propera a la costa catalana floreix a finals de l'estiu – principis de la tardor (Prieto et al. 2008) mentre que en gran part de la seva àrea de distribució la floració està descrita des de febrer fins a maig (de Bolòs i Vigo 1995). El període comprès entre la primera i la última població que floreix en aquesta regió arriba, doncs, als 8 mesos. Un període molt llarg tenint en compte que el moment de floració influeix en l'èxit de la polinització, l'èxit de la maduració del fruit i d'una progènie de qualitat així com dels nivells de llavor i herbivoria del fruit (Chuine 2010).

3-OBJECTIUS

3-OBJECTIUS

Els objectius d'aquest estudi són els següents:

- 1) En primer lloc, es pretén analitzar l'evolució del desenvolupament floral de *Globularia alypum* en totes les localitats estudiades. Cal tenir en compte que l'època aproximada de floració és un fenomen conegut. No obstant, el que no es coneix tan bé i es vol aclarir en aquest estudi és la descripció de tot el procés que dona lloc a la formació de la flor, des del seu inici fins al moment de la floració tot descrivint el moment en què té lloc cada fase.
- 2) Un segon objectiu és el de trobar un indicador que pugui anar associat al desenvolupament floral. En aquest sentit cal un indicador que es relacioni estretament amb aquest procés i, alhora, sigui pràctic a l'hora d'utilitzar-lo per fer estudis estadístics.
- 3) En tercer lloc, es busca explicar les causes que fan que *Globularia alypum* sigui una espècie tan heterogènia en la fenologia del seu cicle reproductiu i, concretament, de la seva floració. En aquest sentit, es vol avançar en el coneixement dels factors que es relacionen amb la floració d'aquesta espècie. Aquests factors fan que una única espècie com la *Globularia alypum* pugui tenir dates de floració tan diverses entre les localitats en les quals viuen les seves poblacions i poden tenir un origen genètic, climàtic o bé una combinació de tots dos.

En aquest sentit es pretén comprovar si les diferències en la data de floració entre les diferents poblacions s'expressen en els estadis inicials del desenvolupament. Si això fos així implicaria que els factors que condicionen les dates de floració actuen o bé abans de l'inici del desenvolupament floral o bé en els estadis preliminars.

D'altra banda també es pretén comprovar si existeixen factors climàtics que condicionen el desenvolupament floral de *Globularia alypum* i, si ho fan, en quin moment actuen.

- 4) Per acabar, un altre dels objectius d'aquest projecte és determinar la idoneïtat de l'estudi del desenvolupament floral de *Globularia alypum* com a indicador dels efectes del canvi climàtic sobre la vegetació.

- 5) En darrer lloc, s'ha esmentat que aquest estudi pretén millorar el coneixement sobre si existeixen poblacions de *Globularia alypum* diferenciades segons el moment en què tenen lloc les seves fenofases. També s'ha apuntat que es vol aprofundir en la relació entre les fenofases d'aquesta espècie i el clima. Les aportacions en aquest sentit han de contribuir a millorar les prediccions sobre els efectes que pot causar el canvi climàtic sobre la vegetació (Schwartz, 1999; Kramer *et al.*, 2000; Peñuelas i Filella, 2001; Hollister *et al.*, 2005; Menzel *et al.*, 2006).

4-MATERIALS I MÈTODES

4-MATERIALS I MÈTODES.

Aquest projecte s'ha dut a terme en diferents fases.

4.1. Mostreig

Per realitzar un seguiment del desenvolupament floral de *Globularia alypum* en diferents zones geogràfiques es va dur a terme un mostreig de borrons florals i capítols d'aquesta espècie entre l'estiu de 2008 i la primavera de 2009. Aquest mostreig es va repetir

Les localitats van ser escollides amb l'objectiu d'estudiar les diferents variants fenològiques que es poden trobar en la floració de *Globularia alypum* a Catalunya. Concretament, es van escollir com a localitats Altafulla (al Tarragonès), el massís del Garraf (al Garraf), Manresa (al Bages), La Granja d'Escarp (al Segrià), Planes de Sant Jordi (al Baix Ebre), Ginestar (a la Ribera d'Ebre), Camarasa (a La Noguera), Pont de Llierca (a La Garrotxa) i Estamariu (a l'Alt Urgell) (Fig. 4).

Aquest mostreig es va repetir en diferents èpoques de l'any per tal de copsar com evoluciona el desenvolupament floral a cada localitat. Concretament, els mesos escollits per repetir els mostrejos a cada localitat van ser els següents: juliol de 2008 (JUL_08), setembre d'aquell mateix any (SET_08), finals d'octubre-principis de novembre de 2008 (NOV_08), desembre de 2008 (DES_08) i març de 2009 (MAR_09).

Els mostrejos de JUL_08 van ser realitzats en dates compreses entre el 23-7-08 (a Pont de Llierca) i el 31-7-08 (a Manresa). Els mostrejos de SET_08 van ser realitzats entre el 2-9-08 (a Mequinensa) i el 16-9-08 (a Altafulla). Per la seva banda, els mostrejos de NOV_08 van comprendre dates entre el 21-10-08 (al massís del Garraf, Planes de Sant Jordi i Tivissa) i el 7-11-08 (a Mequinensa). Pel que fa als mostrejos de DES_08 aquests van ser realitzats entre els dies 12-12-08 (a Mequinensa) i 22-12-08 (a Planes de Sant Jordi i Tivissa). Finalment, els mostrejos de MAR_09 van ser realitzats entre els dies 2-3-09 (a Manresa) i 12-3-09 (a Mequinensa).

A cada campanya de recollida de mostres es van agafar 5 borrons florals de 10 individus diferents de *Globularia alypum* a cadascuna de les localitats escollides. Aquest darrer procediment s'ha realitzat per tal de tenir 5 rèpliques de cada individu i, així, evitar biaixos tant estadístics com de selecció. Cal dir, però, que cadascun dels 5 borrons que es van agafar com a rèplica d'una mostra pertanyen al mateix individu. Això implica que les rèpliques no eren independents entre elles, per la qual cosa, en realitat es consideren subrèpliques i no pas rèpliques de la mostra.

Les mostres recollides en les diferents campanyes que es varen realitzar són borrons de *Globularia alypum* en una fase del seu desenvolupament floral.

No obstant, cal remarcar que hi ha localitats en les quals no ha fet falta realitzar les 5 campanyes de mostrejos perquè les seves poblacions han florit abans. S'ha de tenir en compte que l'interès del treball és comparar el procés de floració entre les diferents poblacions de *Globularia alypum*, que precisament s'acaba quan el capítol ja està format. Aquest ha estat el motiu pel qual les poblacions del massís del Garraf, d'Altafulla, Planes de Sant Jordi o les de Pont de Llerca han estat mostrejades només en les dues primeres campanyes. Les mostres de Ginestar, per la seva banda, han estat recollides en quatre campanyes i la de març no s'ha realitzat.

4.2. Dades climàtiques

Per realitzar l'estudi s'han requerit algunes dades sobre el clima. Per obtenir-les s'han utilitzat mitjanes climàtiques dels últims 55 anys de les localitats esmentades i recollides a Ninyerola et al. (2005) (Taula 1).. Les dades es van obtenir a partir d'una interpolació de les dades proporcionades per les estacions meteorològiques, tenint en compte factors com ara l'alçada, la latitud, la distància respecte la costa, la radiació solar global així com la curvatura del terreny tal i com es descriu a Carnicer et al. (2011) .

4.3. Emmagatzematge de les mostres

Un cop agafades del camp, les mostres es van deixar en unes condicions en les quals poguessin ser conservades. Per tant, les mostres es van agrupar per individus i es va deixar en tubs d'assaig, banyades en alcohol i conservades a temperatures al voltant de 5°C.

Per tant es van necessitar tants tubs d'assaig com individus s'havien requerit per fer els mostrejos de les diferents campanyes, és a dir, 370 (10 individus x 9 localitats x 4,111 èpoques de l'any). (Veure annex 1).

A cada tub d'assaig hi havia les rèpliques d'un mateix individu, que de mitjana en van ser 5, de manera que la mida mostral de l'estudi va ser de 1850 (Annex 1). Cada tub d'assaig va ser etiquetat tot indicant-ne la localitat en la qual van ser recollides les rèpliques, el mes en què això va succeir i l'individu del qual es tracta (amb un número de l'1 al 10).

4.4. Descripció dels diferents estadis del desenvolupament floral de *Globularia alypum*

Una de les primeres tasques que es va haver de dur a terme al laboratori va ser un treball d'observació per tal d'identificar els principals estadis del desenvolupament floral de la *Globularia alypum*. Abans, però, es van haver d'identificar les diferents estructures del borro floral que participaven en l'esmentat procés mitjançant l'ús d'una lupa i diverses pinces. La identificació d'estructures es va dur a terme a partir de l'observació a través d'una lupa mil·limetrada de mostres de prova, és a dir, mostres recollides en les mateixes localitats de l'estudi, però no incloses en la base mostral del treball estadístic. Un cop identificades les estructures es van agafar mostres de prova de moments de l'any diferents per tal de comprendre els principals canvis que experimenten aquestes estructures al llarg del procés de floració. Així, es van agafar mostres de prova en estadis inicials i d'altres en estadis més avançats i es van arribar a identificar fins a 8 estadis diferents en el procés de formació del capítol floral. Un cop descrits els diversos estadis del desenvolupament floral de *Globularia alypum* es van analitzar els 1850 borrons de la base mostral i se'ls hi va atorgar l'estadi que els corresponia. Aquesta descripció es va anotar i, posteriorment, introduir a la base de dades. A continuació es descriuen els estadis del desenvolupament floral de *Globularia alypum* descrits segons aquest procediment:

Estadi 1: El meristem apical amb fulles modificades.

La fase més inicial no té estructures diferenciades. En les observacions d'aquests borrons es distingeix una zona de creixement, d'entre 0,2 i 0,7 mm, que s'identifica com a meristem apical, el qual està envoltat d'unes fulles modificades.



Fig. 15. Esquema Estadi 1

Aquestes fulles tenen una morfologia semblant a la de les fulles somàtiques, però en aquest cas són més petites i endurides. Aquestes fulles són atenuades en pecíol molt curt, de 1-2 x 0,2-0,3 cm. A més, tenen una forma més aviat el·líptica o lanceolades, agudes, apicalment mucronades, uninervades, coriàcies, glabres, de marges enters i amb una coloració verd-marronosa.

Estadi 2: *Meristematic Dome* + primeres bràctees externes

El meristem apical es comença a engreixar (les cèl·lules meristemàtiques han proliferat i es comencen a diferenciar).



Fig. 16. Esquema Estadi 2

Ara, aquesta cúpula meristemàtica (*meristematic Dome*) mesura entre 0,7 i 2 mm. S'interpreta que aquest *meristematic Dome* és un teixit en formació que acabarà essent el receptacle floral. Alhora, apareixen les primeres bràctees externes, les quals cobreixen el *meristematic Dome* en disposició de carxofa.

Les bràctees externes mesuren entre 0,5 i 1,5 mm. Aquesta mida encara es troba lluny de les bràctees externes de la flor madura (de 6 mm).

No obstant, es pot considerar que les bràctees externes són visibles abans que no pas el receptacle (ja que aquest no es troba diferenciat com a tal).

Tot i això, cal remarcar que tots dos processos de diferenciació són simultanis, i l'única diferència és que tenen lloc a ritmes diferents.

Estadi 3: Receptacle floral + bràctees externes.

El receptacle ja s'observa en la seva forma madura, és a dir, ample per la part superior i més estret a la part més propera al peduncle. Aquesta forma permet identificar-lo plenament malgrat que encara hagi de créixer en volum. La mida del receptacle oscil·la entre 1,5 i 4,5 x 0,8 i 2,5 mm.

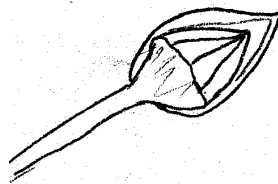


Fig. 17. Esquema Estadi 3

Es considera que el *meristematic Dome* ha guanyat volum i s'ha diferenciat (és a dir, les cèl·lules meristemàtiques han proliferat i han diferenciat un nou teixit que és el receptacle).

Per la seva banda les bràctees externes han crescut i, alhora, n'han aparegut de noves. La seva mida oscil·la entre els 0,85 mm i els 3,5 mm de longitud. Les bràctees externes més perifèriques són les que tenen una mida més gran (serien aquelles que s'han format abans) i les situades més al centre (amb un contacte més íntim amb el receptacle) tenen una mida més reduïda (serien les més joves).

Estadi 4: Receptacle floral + bràctees externes + primeres protuberàncies de bràctees internes amb primordis florals.

El receptacle creix en la mida; en aquesta fase la seva mida oscil·la entre els 3 i 6,5 x 1,5 i 3,5 mm. El seu centre és nu. Aquest seria el teixit meristemàtic inicial que s'ha anat dividint i ha anat diferenciant estructures. Al voltant d'aquest centre comencen a créixer les primeres bràctees internes d'entre 0 i 2,14 mm de longitud.

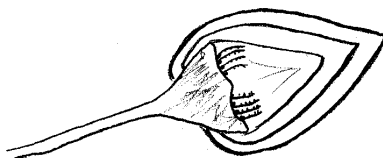


Fig.18. Esquema Estadi 4

Aquestes es diferencien de les bràctees externes per la seva forma més linear i acuminada, a banda que són més tendres i piloses. De fet les bràctees internes destaquen, sobretot, per la seva pilositat i aquesta característica fa que siguin difícils de confondre. A més, cal destacar que, des del començament, les bràctees internes es troben íntimament relacionades amb els primordis florals. Així, cada bràctea interna porta associat un primordi floral (que més endavant es convertirà en els quatre verticils). Els futurs verticils dels primordis florals no es poden observar. En aquesta fase només s'observen unes petites protuberàncies de 0,07-0,2 mm. Aquestes protuberàncies es visualitzen com a petits saquets.

D'altra banda, a la perifèria del receptacle es veuen les bràctees externes; aquelles que estan situades més a prop del centre són més petites (serien les més joves) mentre que aquelles que es disposen més allunyades del centre tenen una mida més gran (serien les més velles). Cal destacar que des del moment en què s'observen les primeres bràctees internes ja no es percep cap augment en el nombre de bràctees externes. En qualsevol cas, i fruit de l'acumulació de bràctees externes formades al llarg de tots els estadis de desenvolupament anteriors a aquest, en aquesta fase s'observa com el nombre de bràctees externes és més gran que mai.

En general s'observa un augment de la mida de tots els components de l'involucre; com a conseqüència, el pes sec dels borrons d'aquesta fase és superior al pes sec dels de les fases anteriors.

Estadi 5: Receptacle + bràctees externes + bràctees internes amb primordis florals (on les primeres tenen una mesura més de 3 vegades més gran que els segons).

El receptacle ha crescut encara més; ara la seva mida oscil·la entre 4 i 8 x 2 i 5 mm. El seu centre és nu i correspondria al teixit meristemàtic inicial que s'ha anat dividint i ha anat diferenciant estructures. Al voltant de l'esmentat centre nu s'observen unitats de bràctea interna (de 2 a 6 mm) amb els primordis florals (de 0,5 a 3mm).

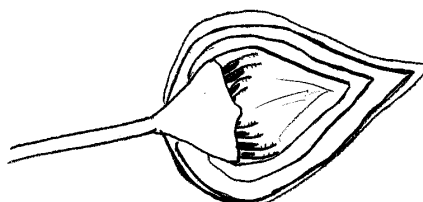


Fig. 19. Esquema Estadi 5

Aquestes unitats tenen una mida més petita conforme més a prop del centre es troben (ja que s'haurien format més recentment); en canvi, les unitats més allunyades del centre són més grans (ja que s'haurien format en les fases prèvies). En qualsevol cas, les bràctees internes sempre s'observen associades a un primordi floral, encara que aquest només sigui visible com una protuberància de dimensions molt reduïdes.

En aquest cas els verticils tampoc són visibles ja que s'observen unes protuberàncies que es visualitzen com a petits saquets. Aquestes protuberàncies tenen una forma de semicircumferència quan són més petits de

0,7 mm. En canvi la seva forma és més allargada a mesura que augmenta la seva longitud.

En certa manera es pot intuir que els verticils en formació es troben protegits per una membrana. El seu conjunt és el que formaria la protuberància que s'observa.

Sigui com sigui, en aquesta fase els primordis florals són vistos com uns sacs més allargats que en el cas anterior; els "sacs", alhora, tenen una alçada menor que la de la bràctea interna associada tot i que la diferència entre ambdues alçades ha disminuït (en aquest cas ja no és de més del triple).

A la part perifèrica s'observen les bràctees externes; aquelles situades més a prop del centre són més petites (serien les més joves, és a dir, aquelles que s'han format més recentment) mentre que les que hi estan més allunyades tenen una mida més gran (ja que serien les més velles, és a dir, aquelles que s'han format abans i han tingut més temps per desenvolupar-se).

També cal destacar que s'observa un increment general del volum del borro que, al seu torn, es tradueix en un augment del valor del pes sec.

Estadi 6: Receptacle + bràctees externes + bràctees internes amb primordis florals (on els segons arriben a tenir una mesura de menys de 3 vegades menor que les bràctees internes).

El creixement del receptacle ja no es percep amb tanta claredat; el centre nu cada cop és més petit; al seu voltant s'observen les unitats de bràctea interna amb primordis florals en les quals la bràctea interna és més del triple d'alçada (0,7-2,14mm) que els primordis florals (0,07-0,2mm).

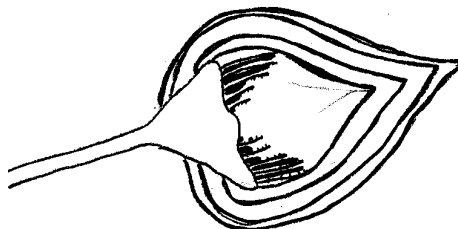


Fig. 20. Esquema Estadi 6

No obstant, tot seguit (en la posició situada immediatament més perifèrica) s'observen unitats de bràctea interna amb primordis florals que tenen una diferència d'alçada menor o igual del triple (4-6mm de bràctea interna per 1,5-3mm de primordis florals).

Paral·lelament, a la posició més perifèrica del receptacle s'observen unitats de bràctea interna amb primordis florals en els quals l'alçada de la bràctea interna és semblant a la dels verticils (6,5-7mm). A més, en aquestes unitats els verticils ja no s'observen com a protuberàncies ni saquets sinó que els verticils florals són clarament visibles. L'explicació d'aquest darrer fenomen podria ser que la membrana protectora s'hauria trencat amb els verticils desenvolupats i, per tant, aquests es trobarien lliures.

Per la seva banda, a la part perifèrica s'observen les bràctees externes; les situades més a prop del centre són més petites (de 0,85-3,5mm) i serien les més joves, és a dir, aquelles que s'han format més recentment; en canvi que les que estan més allunyades del centre tenen una mida més gran (4-6mm) i serien les més velles, és a dir, aquelles que s'han format abans i han tingut més temps per desenvolupar-se.

No obstant, cal remarcar que en aquesta fase s'observen menys diferències entre la mida de les diferents bràctees externes. La interpretació d'aquest fenomen és que en aquesta fase el borró ha deixat de créixer. De fet, en aquesta fase s'observen els primers indicis que el borró es comença a obrir.

Estadi 7: Receptacle + bràctees externes + bràctees internes amb primordis florals (on els segons arriben a tenir verticils visibles i una mesura semblant a la de les bràctees internes).

El creixement del receptacle, si existeix, és imperceptible; al centre s'hi poden trobar petites unitats de bràctea interna (1-2mm) amb primordis florals (0,1-0,2mm) acabades de formar.

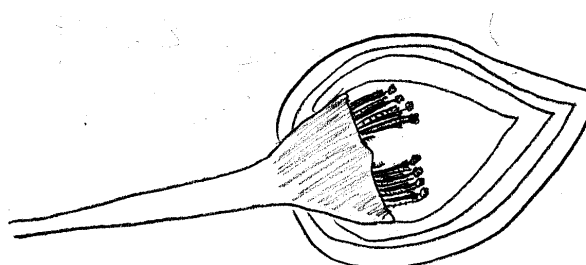


Fig. 21. Esquema Estadi 7

Al seu voltant hi ha unitats de bràctea interna amb verticils florals lliures de mida molt més gran (6,5-7mm) i amb una alçada de la bràctea interna i els primordis florals molt semblant.

En la posició més perifèrica s'observen unes fileres d'unitats de bràctea interna amb els verticils florals més grans. En aquest cas, els estams superen l'alçada de la bràctea interna. En el primordi floral es distingeix ja un calze de 2,5-3 mm, una corol·la d'uns 6 mm i un androceu de 4 estams amb anteres i filaments de 3,5 mm.

Per la seva banda, a la part perifèrica s'observen les bràctees externes; les situades més a prop del centre són més petites (de 3-3,5mm) i serien les més joves, és a dir, aquelles que s'han format més recentment; les que estan més allunyades del centre tenen una mida més gran (6 mm) i serien les més velles, és a dir, aquelles que s'han format abans i han tingut més temps per desenvolupar-se. No obstant, cal remarcar que en aquesta fase s'observen encara menys diferències entre la mida de les diferents bràctees externes. La interpretació d'aquest fenomen és que en aquesta fase el borró ha deixat de créixer. De fet, en aquesta fase s'observen clars indicis que el borró s'obre.

Estadi 8: Receptacle + bràctees externes + bràctees internes amb primordis florals (on els segons arriben a tenir verticils visibles una mesura superior a la de les bràctees internes) (Fig. 2).

En aquest estadi la flor es troba totalment desenvolupada. En aquest cas, al centre del receptacle s'observen algunes petites unitats de bràctea interna amb primordis de verticils florals de formació recent. No obstant, les unitats immediatament més perifèriques apareixen més grans, amb els estams més alts que les bràctees internes.

Per la seva banda, a la part més allunyada del centre del receptacle s'observen flors desenvolupades. Les flors desenvolupades contenen tots els seus verticils, els quals s'observen de la següent manera (des de la part superior a l'inferior): l'androceu de 4 estams amb anteres i filaments de 3,5mm, el gineceu i la corol·la amb els pètals clarament visibles (d'uns 6 mm). Totes aquestes estructures són més altes que la bràctea interna. Finalment, s'hi pot trobar el calze amb les 5 dents soldades (sèpals) d'uns 3,5 mm el qual té la mateixa l'alçada que la bràctea interna.

A mesura que el capítol va madurant i es va obrint, les unitats més centríques avancen en el seu desenvolupament. No obstant, és freqüent trobar capítols amb flors fecundades i, alhora, amb unitats de bràctea interna amb primordis florals que no han completat el seu desenvolupament.

Aquestes fases són el resultat de l'observació (i realització d'algunes mesures) de diversos borrons florals recollits en diferent localitat i època de l'any. Les conclusions d'aquest procés han servit com a criteri per atorgar una fase del desenvolupament a cada borro estudiat. En aquest sentit, aquest ha estat un dels indicadors del desenvolupament floral utilitzats per estimar com d'avançat es troba aquest procés en cada mostra i rèplica d'aquest estudi.

Fer servir només aquest criteri pot tenir algun inconvenient. No es pot obviar que en la classificació per fases segons criteris observacionals no es fa servir una mesura del sistema mètric decimal, sinó que les observacions es recolzen amb diferents mesures que hi donen consistència. Aquest fet pot implicar alguna dificultat a l'hora de treballar amb les dades i és per aquest motiu que a cada fase se li ha assignat un número. Aquest número està comprès entre l'1 i el 8 on l'1 correspon a la fase de desenvolupament més inicial i el 8 a la fase de desenvolupament més avançada (és a dir amb la floració ja completada).

A més a més, a banda de la descripció de la fase de desenvolupament que s'acaba d'esmentar s'han realitzat altres mesures que s'hi correlacionessin i poguessin servir com a indicadors de la fase de desenvolupament. Aquestes mesures han de servir com a suport de la descripció observacional de la fase de desenvolupament.

4.5. Indicador quantitatiu de l'estadi de desenvolupament floral. Mesura de la bràctea interna.

Una de les variables que es correlacionen amb la fase de desenvolupament floral és la longitud de la bràctea interna. La bràctea interna és una fulla molt modificada que acompanya a cada unitat de primordi floral durant el seu desenvolupament. Així mateix, també acompanya a cada unitat floral del capítol desenvolupat durant la floració i durant la pol·linització. Finalment, es perd quan es produeix la formació del fruit i es troba absent en les posteriors etapes (*in lett.*).

Les bràctees internes són estructures que només apareixen quan el desenvolupament floral està relativament avançat (a partir de l'Estadi 4). La mesura de la seva longitud es correlaciona força bé amb l'estadi de desenvolupament floral tot i que aquesta pot ser més o menys estreta segons la localitat (Annex 2). Aquesta mesura té l'avantatge que dona informació en unitats del sistema mètric decimal (mil·límetres). No obstant, té l'inconvenient que només dona informació de les etapes més tardanes del desenvolupament floral.

Per mesurar la longitud de les bràctees internes s'ha aprofitat l'observació de les mostres per descriure'n la fase de desenvolupament que s'ha esmentat anteriorment. Aquesta mesura s'ha dut a terme a través d'una lupa mil·limetrada en la qual s'ha mesurat la longitud de la bràctea interna situada a la part més perifèrica del receptacle floral. Evidentment, aquesta mesura s'ha realitzat en aquelles mostres que es trobaven en un estadi del desenvolupament suficientment avançat com per tenir bràctea interna; és a dir, aquelles borrons florals en una fase del desenvolupament igual o més gran que la fase 4. Concretament, es van trobar en aquesta situació 566 mostres de les 1850 de la base mostral.

4.6. Indicador quantitatiu de l'estadi de desenvolupament floral. El pes sec.

Una altra de les variables que es correlacionen amb la fase de desenvolupament floral és la biomassa i la manera més aproximada de mesurar-la és la mesura del pes sec. El pes humit es va descartar com a mesura ja que aquest depèn de la quantitat d'aigua retinguda per la biomassa i aquesta depèn de molts factors i és molt variable. El pes sec es correlaciona sempre amb l'estadi de desenvolupament, tot i que aquesta correlació té una pendent més alta en unes localitats i més baixa en unes altres (Annex 3). Això vol dir que hi ha localitats en què aquesta correlació és més estreta que en d'altres. Aquest fenomen es deu a que una mateixa fase pot diferir en el pes segons la localitat i que el pes final també pot diferir entre localitats (no dades).

Sigui com sigui, el pes sec és una mesura útil per contrastar-la amb mesures observacionals ja que la seva correlació amb la fase del desenvolupament és positiva (Annex 3).

La mesurar del pes sec es va realitzar després d'haver atorgat l'estadi del desenvolupament a la mostra i d'haver realitzat la mesura de la bràctea interna. Per realitzar aquesta mesura va ser necessari disposar d'una estufa per sotmetre les 1850 mostres a 70 °C durant, almenys, 48 hores per tal que els borrons florals perdessin l'aigua i els líquids que retenien. Un cop passades aquestes 48 hores es van tornar a agafar les mostres per pesar-les en una balança especialitzada per a mostres fines. S'ha de tenir en compte que les magnituds de la mesura del pes sec d'aquestes mostres oscil·lava entre el µg i el mg.

Les dades de pes sec es van recollir i, posteriorment, es van introduir en la base de dades per al seu futur tractament.

4.7. Anàlisi estadística dels resultats.

Les variables “estadi de desenvolupament”, “pes sec” del borro, i “longitud de la bràctea interna” s’han analitzat a cada data de mostreig per separat. Pels mostrejos de JUL_08 i SET_08 s’han considerat els factors “època de floració” i “localitat”. El factor “localitat” té com a nivells les 9 poblacions estudiades. El factor “època de floració” té dos nivells: PRIMERENCA (GAR, ALT, PLL, PSJ) i TARDANA (GIN, GRE, MAN, CAM, EST). L’efecte dels factors en cadascun dels dos mostrejos de JUL_08 i SET_08 s’ha analitzat mitjançant ANOVA aniuada amb les localitats aniuades en l’època de floració. Per tal de complir amb els requeriments de normalitat dels residus i d’homogeneïtat de les variàncies les dades s’han transformat quan ha calgut utilitzant el logaritme per al pes sec i la inversa per a l’estadi de desenvolupament.

Durant els mostrejos de NOV_08, DES_08 i MAR_09, en estar ja florides les poblacions primerenques i no haver-hi, per tant, borrons, només s’han estudiat les poblacions tardanes. S’ha estudiat l’efecte de la “localitat” en l’estadi de desenvolupament, el pes sec i la llargada de la bràctea interna mitjançant un ANOVA d’un factor. Aquesta anàlisi estadística també s’ha realitzat per a les poblacions tardanes en els mostrejos de JUL_08 i SET_08 per tal de comparar l’evolució dels borrons en aquestes poblacions. En cas de necessitat les dades s’han transformat per ajustar-les als criteris de normalitat i homogeneïtat de les variàncies.

Quan els resultats han estat positius, posteriorment s’ha realitzat un Anàlisi Post Hoc, en el qual s’ha realitzat el Test de Fisher LSD per comparar les variàncies entre poblacions.

D'altra banda, les variables contínues “pes sec” i “temperatura mínima al mes de desembre” s’han analitzat mitjançant un model de regressió lineal.

Les anàlisis han estat realitzades amb el paquet estadístic STATISTICA.

5-RESULTATS

5-RESULTATS.

5.1. Descripció dels resultats

De les mostres analitzades, un primer resultat és que l'evolució de l'estadi de desenvolupament floral té dos patrons de desenvolupament molt contrastats. Per una banda hi ha el grup de les poblacions amb floració primerenca, amb les poblacions del massís del Garraf, Altafulla, Pont de Llerca i Planes de Sant Jordi. En aquest grup el desenvolupament floral avança a un ritme més ràpid i en els mostrejos de NOV_08 ja han florit o bé es troben en un estadi del desenvolupament floral molt avançat.

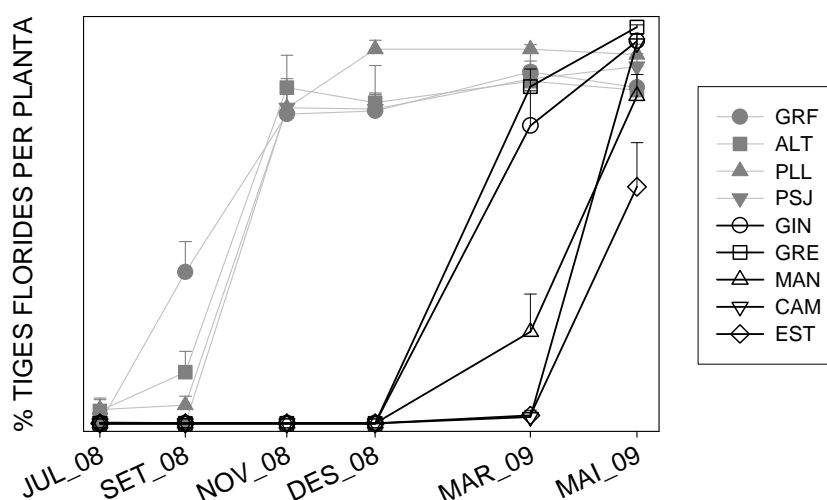


Fig. 1. Percentatge de tiges florides per planta assolides per a cada població al llarg dels diferents mostrejos realitzats..

D'altra banda, hi ha el grup de les poblacions amb floració tardana, amb les poblacions de Ginestar, La Granja d'Escarp, Manresa, Camarasa i Estamariu. En aquest grup el desenvolupament floral avança a un ritme molt més lent i els borrons florals no arriben a la floració fins al mostreig de MAR_09. Fins i tot, hi ha poblacions, com ara les de Camarasa, Manresa i Estamariu que en aquest mostreig de MAR_09 encara no han florit (Fig 5).

Tots dos grups de poblacions estan separats pels mesos d'hivern (de desembre a febrer), en els quals no va florir cap població (Fig 5).

Les localitzacions dels grups de població amb floració tardana i primerenca estan diferenciats geogràficament. Les poblacions de floració primerenca estan situades preferentment a la costa (massís del Garraf, Altafulla, Planes de Sant Jordi) amb l'excepció de la població de Pont de Llerca, que és una localitat d'interior.

Les poblacions de floració tardana, per la seva banda, s'han trobat totes a localitats continentals (Ginestar, La Granja d'Escarp, Manresa, Camarasa, Estamariu).

Al mostreig de JUL_08 els dos factors analitzats (època de floració i localització) han donat diferències significatives. Així, les poblacions primerenques es troben en una fase del desenvolupament més avançada que les tardanes, amb una probabilitat d'equivocar-nos menor de 0,0001. Per la seva banda, la localització de la població no ha donat resultats amb diferències significatives ni per al grup de població PRIMERENQUES ni per al grup de població TARDANES (Fig.8).

Per la seva banda, al mostreig de SET_08 els dos factors analitzats (època de floració i localització) han donat una variància més gran que la que es pot explicar per efectes aleatoris. Així, les poblacions primerenques es troben en una fase del desenvolupament més avançada que les tardanes, amb una probabilitat d'equivocar-nos menor de 0,0001. Així mateix, no hi ha diferències en l'estadi de desenvolupament entre les localitzacions de les poblacions de floració tardana. En canvi, en el grup PRIMERENQUES la població del massís del Garraf és la que es troba en un estadi més avançat, seguida per la població de Pont de Llierca. Aquesta població, al seu torn, es troba en un estadi de desenvolupament més avançat que les poblacions d'Altafulla i Planes de Sant Jordi. Entre les poblacions d'Altafulla i Planes de Sant Jordi no s'han trobat diferències significatives quant al seu estadi de desenvolupament ($p < 0,0001$) (Fig. 9)..

En aquest mostreig les poblacions primerenques es troben en un estadi proper a la seva floració mentre que les poblacions de floració tardana encara han d'experimentar canvis importants en els seus increments d'estadi de desenvolupament (Fig. 5).

Al mostreig de NOV_08 les poblacions de floració primerenca ja han florit i per aquest motiu, només s'ha analitzat un factor (la localització) en les poblacions tardanes. S'ha comprovat que la localització és un factor que explica les diferències quant a l'estadi de desenvolupament floral de les poblacions, amb una probabilitat d'equivocar-nos de 0,0001. En aquest mostreig les poblacions de La Granja d'Escarp i Camarasa es troben en un estadi del desenvolupament significativament més avançat que les poblacions d'Estamariu, Manresa i Ginestar respectivament. Entre les dues primeres poblacions els resultats no han estat significatius, com tampoc ho han estat entre les tres poblacions que es troben en un estadi de desenvolupament més endarrerit (Fig. 10).

Al mostreig de DES_08 la localització ha continuat essent un factor que explica les diferències pel que fa a l'estadi de desenvolupament floral de les poblacions. En aquest mostreig les poblacions de Ginestar, La Granja d'Escarp, Camarasa i Manresa es troben en un estadi de desenvolupament floral més gran que la població d'Estamariu, la qual es va quedant endarrerida ($p < 0,0001$) (Fig. 11).

Finalment, al mostreig de MAR_09 la localització ha tornat a ser un factor relacionat amb les diferències en l'estadi de desenvolupament floral de les poblacions, amb una probabilitat d'equivocar-nos menor de 0,0001. En aquest mostreig, les poblacions de Ginestar i La Granja d'Escarp ja han florit. De les que encara no ho han fet, la població de Camarasa es troba en un estadi de desenvolupament més gran que la de Manresa i aquesta, al seu torn, en un més gran que la població d'Estamariu, amb una probabilitat d'error menor de 0,0001 (Fig. 12).

Aquest mateix anàlisi de resultats s'ha repetit amb la mesura del pes sec.

Al mostreig de JUL_08 els dos factors analitzats (època de floració i localització) han donat diferències significatives. Així, les poblacions de floració primerenca tenen un pes sec més gran que les poblacions de floració tardana. Per la seva banda la localització de la població també és un factor que explica la variabilitat dels resultats amb una probabilitat d'equivocar-nos menor de 0,05.

Entre el grup de població PRIMERENQUES no s'han trobat diferències significatives en el pes sec entre poblacions. En canvi, en el grup TARDANES la població de La Granja d'Escarp ha registrat un pes sec més gran que el de la resta de poblacions (Fig. 6).

Al mostreig de SET_08 els dos factors analitzats (època de floració i localització) han donat una variància més gran que la que es pot explicar per efectes aleatoris i, per tant, diferències significatius. Així, les poblacions de floració primerenca tenen un pes sec més gran que les de floració tardana, amb una probabilitat d'equivocar-nos menor de 0,0001. D'altra banda, la localització també es relaciona amb les diferències de pes sec entre poblacions ($p < 0,0001$). Entre el grup PRIMERENQUES, les poblacions de Garraf i Pont de Llerca tenen un pes sec més gran que la població d'Altafulla, la qual, al seu torn, té un pes sec major que la població de Planes de Sant Jordi. Entre el grup TARDANES, la població de Camarasa té un pes sec més gran que les poblacions de Ginestar i La Granja d'Escarp. Aquestes poblacions, al seu torn tenen un pes sec més gran que la població de Manresa i aquesta última, un de més gran que la població d'Estamariu. Entre les poblacions de Ginestar i La Granja d'Escarp no s'han trobat diferències en el pes sec (Fig. 6).

Al mostreig de NOV_08 les poblacions de floració primerenca ja han florit, per la qual cosa només s'ha analitzat un factor (la localització) en les poblacions tardanes. S'ha comprovat que la localització és un factor que explica les diferències quant al pes sec, amb una probabilitat d'equivocar-nos menor de 0,0001. En aquest mostreig la població de Camarasa té un pes sec més gran que les poblacions de La Granja d'Escarp, Ginestar i Manresa i aquestes, un pes sec més gran que la població d'Estamariu ($p < 0,0001$). Entre les poblacions de La Granja d'Escarp, Ginestar i Manresa no s'han trobat diferències significatives en el pes sec (Fig. 6).

Al mostreig de DES_08 la localització ha continuat essent un factor que explica les diferències de pes sec entre les diferents poblacions. En aquest

mostreig les poblacions de Ginestar, La Granja d'Escarp i Camarasa tenen un pes sec més gran que la població de Manresa i aquesta un pes sec més gran que la població d'Estamariu ($p < 0,0001$). Entre les poblacions de Ginestar, La Granja d'Escarp i Camarasa no s'han trobat diferències de pes sec significatives (Fig. 6).

Finalment, al mostreig de MAR_09 la localització ha tornat a ser un factor relacionat amb les diferències de pes sec entre les poblacions, amb una probabilitat d'equivocar-nos menor de 0,0001. En aquest mostreig les poblacions de Ginestar i La Granja d'Escarp ja han florit. De les que encara no ho han fet, la població de Camarasa té un pes sec més gran que la de Manresa i aquesta, un pes sec més gran que la població d'Estamariu ($p < 0,0001$) (Fig. 6).

L'evolució del pes sec en les diferents poblacions és semblant a la de l'estadi de desenvolupament, tot i que amb algunes variacions.

Per exemple, en el mostreig de NOV_08 l'estadi de desenvolupament de les poblacions de floració tardana només evidencia diferències entre el grup de les poblacions de La Granja d'Escarp i Camarasa (en un estadi més avançat) i el grup de les d'Estamariu, Manresa i Ginestar (en un estadi més endarrerit). En canvi, en aquest mateix mostreig, la població amb un pes sec més gran és la de Camarasa, seguida del grup de poblacions de La Granja d'Escarp, Ginestar i Manresa que, al seu torn, té un pes sec més gran que la població d'Estamariu.

En el mostreig de DES_08 també hi ha variacions entre les dues mesures. L'estadi de desenvolupament només evidencia que la població d'Estamariu es troba més endarrerida que la resta. En canvi, la mesura del pes sec dona un pes sec de la població de Manresa més petit que la resta de poblacions que, no obstant, és més gran que el pes sec de la població d'Estamariu (Fig. 6).

Aquestes observacions corroboren que, si bé existeix una correlació general entre les mesures de la fase de desenvolupament i el pes sec aquesta és més o menys estreta depenent de la població (annex 3).

La lectura de la mesura de la bràctea interna de major longitud entre les diferents poblacions dona resultats semblants tot i que no s'ha pogut realitzar l'anàlisi estadística amb l'ANOVA per a la bràctea interna. No obstant, el resum de resultats permet observar una tendència similar a la de les variables "pes sec" i "estadi de desenvolupament". Una tendència creixent a mesura que passa el temps i que s'atura només després de la floració. En línies generals també es diferencien les poblacions de floració primerenca (les del massís del Garraf, Pont de Llerca, Altafulla i Planes de Sant Jordi) de les poblacions de floració tardana (Ginestar, La Granja d'Escarp, Camarasa, Manresa i Estamariu). No obstant això, determinats mostresos han donat algunes excepcions, sobretot als mostresos inicials. També s'han detectat increments de longitud de la bràctea interna diferents segons l'època de l'any entre les poblacions de floració tardana (Fig. 7).

Es torna a donar el cas -com amb la mesura del pes sec- que la longitud de la bràctea interna no es correlaciona amb l'estadi de desenvolupament de la mateixa entre diferents poblacions. Les correlacions entre ambdues variables sempre són positives, però hi ha poblacions en què aquestes tenen pendents més grans i poblacions en què les tenen més petites. Això implica que hi ha poblacions on la mida de la bràctea interna es correlaciona més estretament amb l'estadi de desenvolupament i poblacions on aquestes variables no es correlacionen tan estretament (annex 2).

Com ja s'ha esmentat més amunt, les poblacions de floració tardana mostren un increment de la fase de desenvolupament floral diferent en els diversos mostrejos entre poblacions de floració tardana, sobretot entre els mostrejos de NOV_08 i els de DES_08 (Fig.5). Entre aquests mostrejos hi ha poblacions que incrementen el seu estadi de desenvolupament floral de manera superior a altres poblacions. Aquest fet fa que, en alguns casos hi hagi d'ordre segons el grau d'avançament de l'estadi de desenvolupament o segons la magnitud del pes sec. Concretament, en el mostreig de NOV_08, entre les poblacions de floració tardana, les que es troben en una fase de desenvolupament més avançada són les localitzades a La Granja d'Escarp i a Camarasa, per davant de la resta.

En canvi, en el mostreig de DES_08 aquest ordre ha variat perquè l'increment de la fase de desenvolupament floral ha estat diferent. En aquest mostreig, les poblacions han igualat el seu estadi de desenvolupament amb l'excepció d'Estamariu que es queda endarrerida (Taula 5).

Aquesta diferència en l'increment de l'estadi de desenvolupament entre poblacions es veu reforçada quan s'analitza l'increment del pes sec entre les poblacions de floració tardana.

S'ha volgut comprovar la relació existent entre l'increment de fase de desenvolupament i la mitjana de temperatures mínimes durant aquest període per a les poblacions de floració tardana. S'ha comprovat que existeix una correlació positiva entre l'increment de la fase de desenvolupament entre octubre i desembre i la mitjana de temperatures mínimes del mes de desembre, amb una $R^2 = 0,5138$ (Fig. 13). Una correlació que és més estreta ($R^2 = 0,9739$) si comparem l'increment de pes sec amb la mitjana de les temperatures mínimes del mes de desembre (Fig 14).

5.2. Discussió dels resultats

5.2.1. Floració de tardor vers la d'estiu

Existeixen dos grups de poblacions, els de floració primerenca i els de floració tardana. Aquests dos grups floreixen en diferents períodes de l'any. El primer grup correspon a les poblacions que es localitzen a la costa i el segon a les que ho fan a localitats continentals.

Estudis relacionats amb el present treball realitzats prèviament suggerien que un factor regulador d'aquesta disjunció en la floració eren les baixes temperatures al llarg de l'any (Estiarte, Puig, Peñuelas et al. 2010). Així mateix, apuntaven que les localitats que tenien temperatures més baixes durant el mes més fred acollien les poblacions de floració tardana mentre que les que tenien temperatures més suaus en aquest mes (com és el cas de les localitats costaneres) acollien poblacions de floració primerenca. En aquest mateix estudi s'apuntava que la temperatura era el factor més important a l'hora d'explicar les diferències entre les diferents poblacions amb floració tardana. Entre aquest grup, les localitats amb temperatures més suaus acullen les poblacions que floreixen abans i les localitats amb temperatures més fredes acullen poblacions que triguen més temps a florir. A més, aquest estudi suggeria que el moment en què tenien lloc les precipitacions després de l'estiu, potser combinat amb l'acumulació de pluges, podria ser determinant en la data de floració (Prieto et al. 2008) tot i que no n'era la causa exclusiva.

Les informacions acumulades fins avui no permeten afirmar si la gran diferència en la floració entre les poblacions de floració tardana i les de floració primerenca responen a una adaptació genètica o bé a una plasticitat fenotípica relacionada amb el clima. Fins i tot s'ha suggerit que podria ser una combinació de tots dos fenòmens, de manera que les poblacions estarien genèticament adaptades a un ambient local i, alhora, requeririen determinats períodes de fred abans de florir en les poblacions de localitats continentals. Les poblacions de localitats costaneres no requeririen aquesta exposició al fred (Estiarte et al. 2010).

Sigui com sigui, independentment de quins siguin els factors que condicionen que la floració sigui primerenca o tardana, les dades suggereixen que aquests factors actuen abans del mes de juliol ja que en el mostreig d'aquest mes ja hi ha diferències en l'estadi de desenvolupament floral entre aquests dos grups. Durant aquest mes el desenvolupament floral encara es troba en els estadis preliminars i els borrons florals tenen una mida petita (tenen pesos secs entre els 6,2 i els 14,2 mg). No obstant, els estadis de desenvolupament són significativament diferents entre les poblacions primerenques i les tardanes, fet que es veu reforçat amb el mostreig de setembre.

No obstant, malgrat que els dos factors analitzats (moment de floració i localització) hagin donat resultats significatius, cal remarcar que l'ordre de floració no està, en absolut, determinat al mes de juliol. De fet, la localització explica diferències entre poblacions, però aquestes diferències experimenten canvis al llarg dels mostrejos posteriors i, fins i tot, en alguns casos s'esvaeix.

Aquesta informació suggereix que al mes de juliol ja està determinat si la població florirà abans (poblacions primerenques) o després de l'hivern (poblacions tardanes) però no pas l'ordre en què ho faran.

En qualsevol cas, com ja s'ha comentat, al mes de juliol no està tot el procés de desenvolupament floral determinat ja que els diferents mostrejos

posteriors mostren que el desenvolupament floral experimenta canvis diferents a cada població.

Les poblacions de floració tardana encara experimenten importants canvis d'estadi de desenvolupament floral en els mostrejos posteriors. Canvis que cada població experimenta en moments diferents. En els successius mostrejos les poblacions alternen diferents increments d'estadi de desenvolupament fins que al mostreig de MAR_09 l'ordre d'estadis de desenvolupament queda més o menys definit com l'ordre de floració de les poblacions.

Tots aquests fets condueixen a afirmar que, en efecte, si bé al mes de juliol ja està definit si una població florirà abans o després de l'hivern, en els mesos posteriors es defineixen els moments en què el desenvolupament floral s'accelera o s'estabilitza.

Les dades del present estudi suggereixen que els factors que acceleren o estabilitzen el desenvolupament floral del grup TARDANES entre els mesos de juliol i març són ambientals. Tot i això, la capacitat d'accelerar o estabilitzar el desenvolupament floral d'aquests factors mai modifica el fet de florir abans o després de l'hivern, predeterminat abans de juliol. L'efecte d'aquests factors és, doncs, el de modular el ritme del desenvolupament floral. En les poblacions de floració tardana la temperatura mínima del mes de desembre té un paper important en aquesta funció de modular l'estadi de desenvolupament ja que s'hi correlaciona positivament. De fet el paper de la temperatura mínima del mes de desembre es correlaciona de manera més estreta amb el pes sec.

És important remarcar que aquest paper modulador que sembla tenir el clima amb el grup TARDANES no s'ha trobat en el grup PRIMERENQUES les quals semblen tenir el seu ordre de floració molt més determinat.

En resum, les dades del present estudi semblen indicar que al mes de juliol ja està determinat si una població ha de florir abans o després de l'hivern. A partir d'aquest moment hi ha factors ambientals que modulen el desenvolupament floral. En les poblacions tardanes la temperatura mínima del mes de desembre sembla tenir un paper important en aquesta regulació.

5.2.2. Indicadors del desenvolupament floral de *Globularia alypum*

Durant la realització del present treball s'ha mesurat el desenvolupament floral amb tres indicadors diferents. L'objectiu ha estat el de trobar el millor indicador que pugui anar associat al desenvolupament floral.

De tots els indicadors el que s'estima més real és el de l'estadi de desenvolupament ja que es basa en la identificació d'estructures del capítol floral que van apareixent a mesura que avança el desenvolupament floral. És una mesura directa i qualitativa, amb l'avantatge que és fàcil reconèixer quan hi ha un canvi d'estadi de desenvolupament, però amb l'inconvenient de no ser

una variable contínua. Aquesta última característica dificulta la seva utilització en anàlisis quantitativs, com ara les correlacions de variables.

En aquesta última funció el pes sec és un indicador que pot ser útil ja que es correlaciona positivament amb l'estadi de desenvolupament. El pes sec és una mesura quantitativa i pot ser utilitzada en anàlisis quantitativs, com ara els models de regressió, importants a l'hora de correlacionar dues variables quantitatives. No obstant, cal tenir en compte que el pes sec, tot i correlacionar-se positivament amb l'estadi de desenvolupament floral de totes les poblacions, es correlaciona de manera diferent en cadascuna d'elles, ja que amb cada població la correlació hi té un pendent diferent. Aquesta diferent pendent entre poblacions suggereix que una mateix estadi de desenvolupament floral pot tenir pesos secs diferents depenent de la població. Una possible causa d'aquest fenomen és que hi ha poblacions en què el seu borro floral augmenta més de volum que en d'altres tot i assolir el mateix estadi de desenvolupament. Aquest fenomen pot ser causat per factors genètics o bé ambientals que caldrà detallar en estudis posteriors.

La mesura de la bràctea interna també aporta els elements quantitativs necessaris per als anàlisis entre variables quantitatives. Alhora, és una variable que, tot i correlacionar-se positivament amb l'estadi de desenvolupament, aquesta correlació té diferent pendent segons la població. Això suggereix que un mateix estadi de desenvolupament floral pot tenir mesures de la bràctea interna diferents depenent de la població. A més, cal tenir en compte que la bràctea interna és una estructura de la flor de *Globularia alypum* que apareix a partir de l'estadi 4 de manera que la seva mesura només dona informació a partir d'aquest estadi i fins a la formació del capítol floral.

5.2.3. Possibles conseqüències d'un escalfament en el clima

Les projeccions climàtiques per al segle XXI a la regió Mediterrània apunten a un increment de temperatura general d'entre 3 i 4 °C, amb màxims a l'estiu (Christensen et al. 2007). Les conseqüències d'aquest escalfament depenen de la influència del clima sobre la floració. Aquesta influència encara s'haurà de tractar en un futur ja que les informacions acumulades fins avui no permeten afirmar si la gran diferència en la floració entre les poblacions de floració tardana i les de floració primerenca responen a una adaptació genètica o bé a una plasticitat fenotípica relacionada amb el clima.

En qualsevol cas aquest escalfament sembla que podria tenir més conseqüències per al grup PRIMERENQUES que no pas per al grup TARDANES, ja que aquest últim el clima no sembla tenir-hi un paper rellevant, si més no a partir del juliol (Estiarte *com verb.*). Aquest escalfament podria avançar la floració de les poblacions. Si les diferències entre les poblacions de floració primerenca i les de floració tardana són fenotípiques i no genètiques, l'escalfament podria implicar que les poblacions tardanes que floreixen abans, és a dir les de Ginestar i La Granja d'Escarp, canviïn de grup i passin a tenir patrons de floració primerenca.

Aquest avançament tindria implicacions per a la planta, però també per al funcionament de l'ecosistema ja que alteraria la relació de la planta amb els pol·linitzadors. La importància ecològica dels canvis en el moment de la floració dependrà del grau en què canvien les poblacions de pol·linitzadors (Santandreu i Lloret (1998).

Des del punt de vista de la planta l'avançament de la floració representaria disminuir el risc que els borrons i les flors experimentin danys causats per gelades o la depredació (ja que en disminuiria el temps d'exposició). Les poblacions de floració primerenca eludeixen els riscos de danys que causen les gelades a la reproducció ja que finalitzen el seu cicle reproductiu abans que les temperatures siguin massa baixes. Chuine (2010) remarca la importància d'acabar el cicle reproductiu abans que arribi el fred ja que –explica- els límits per la zona nord de les àrees de distribució de les espècies acostumen a aparèixer com a conseqüència de la impossibilitat de sotmetre la maduració del fruit completa a les baixes temperatures.

Ahora, les plantes que floririen abans de l'hivern disminuirien la probabilitat que les llavors experimentessin danys causats per la sequera estival. S'ha de tenir en compte que la germinació de les llavors és l'estadi del cicle vital de la planta més sensible als factors abiòtics de l'ambient. Al Mediterrani, la màxima mortalitat en aquest estadi és causada per la sequera (Lloret et al. 2005). Les llavors de les poblacions de floració primerenca són dispersades aviat i poden germinar amb les pluges de la primavera tal i com s'ha detectat amb la població del massís del Garraf (del Cacho, *com. verb.*). Les llavors de les poblacions de floració tardana poden germinar amb les pluges de la primavera només en els casos de les poblacions de Ginestar i La Granja d'Escarp, però hi ha poblacions com ara les de Camarasa i Estamariu que tenen una dispersió més tardana i la probabilitat que no estiguin preparades per germinar quan arribin les pluges primaverals creix considerablement (Estiarte, et al. 2010).

D'altra banda, queda pendent un estudi sobre la possibilitat que existeixin diferències en la mida dels capítols florals, el nombre de flors o de llavors entre les poblacions. Aquest estudi tindria l'objectiu de descriure les diferències entre les poblacions primerenques i tardanes en la relació creixement-reproducció així com en els efectes de l'escalfament (Estiarte, et al. 2010).

6-CONCLUSIONS

6-CONCLUSIONS.

El present projecte permet concloure les següents afirmacions:

- La fenologia és una característica adaptativa i en particular, la fenologia reproductiva és un determinant important de la fitness d'una població (Chuine, 2010).
- En aquest treball s'ha mostrat com les diferents poblacions d'una espècie, que tenen un creixement dels borrons florals prolongat, poden experimentar acceleracions o alentiments del desenvolupament floral depenent de la localitat on hagin crescut. S'ha vist que per a la *Globularia alypum* tant la floració primerenca com la floració tardana permet la supervivència i la persistència de poblacions naturals.
- Els resultats suggereixen que el fet florir abans o després de l'hivern ja està determinat en els moments inicials del desenvolupament floral i que, el clima accelera o alenteix el desenvolupament floral de les poblacions tardanes amb la determinació prèvia com a base. A més, cal tenir en compte que les poblacions de floració primerenca coincideixen amb localitats costaneres i les de floració tardana amb localitats continentals.
- També s'han valorat diferents mètodes per mesurar el desenvolupament floral i s'ha aconseguit descriure tot el procés dividint-lo en 8 estadis des del seu inici fins a la formació del capítol floral.
- Finalment, s'ha realitzat una discussió sobre les possibles conseqüències d'un l'escalfament en el clima. En aquest cas, un escalfament en el clima afectaria la floració de les poblacions tardanes que floreixen abans, però això dependria de si la determinació de les poblacions com a tardanes o

primerenques és modulada fenotípicament o bé si aquestes diferències són estratègies adaptatives (genotípiques) a climes locals.

6.1. Propostes de millora

Aquest estudi podria ser millorat amb propostes de la metodologia de mostreig que disminuïssin l'error estadístic. Una d'aquestes propostes és ampliar les poblacions, és a dir, augmentar la mida de la mostra per tal que la probabilitat d'error sigui mínima. En aquest sentit, tenir dades d'anys diferents en les mateixes poblacions hauria contribuït a minimitzar l'error estocàstic associat a una possible excepcionalitat d'una temporada. Alhora, hauria estat òptim que els diferents mostresos s'haguessin dut a terme en la mateixa data i no pas en intervals de dates. No obstant, per a què tot això fos possible hauria estat necessari disposar d'uns recursos logístics i d'efectius que no varen ser presents.

6.2. Camps a recercar en el futur

D'altra banda, aquest estudi deixa obertes algunes qüestions, com són l'anàlisi estadístic de la longitud de la bràctea interna. Alhora, queda pendent resoldre la qüestió sobre les causes que fan que una població floreixi abans o després de l'hivern. En aquest sentit, caldria realitzar un estudi de camp detallat entre els mesos de juny i juliol. Aquests són els mesos en què s'inicia el procés de desenvolupament floral i, per tant, seria important identificar aquest fenomen de manera inequívoca i per a cada població. Aquests estudis permetran conèixer si la data d'inici del procés de floració és la mateixa entre les poblacions de floració primerenca i les de floració tardana i si existeixen diferències entre poblacions també en aquest moment. Això permetrà aprofundir en el coneixement sobre si la gran diferència en la floració entre les poblacions de floració tardana i les de floració primerenca respon a una adaptació genètica o bé a una plasticitat fenotípica relacionada amb el clima.

Finalment, per conèixer si aquest fenomen està modulad fenotípicament o bé genotípicament seria important realitzar treballs experimentals en hivernacles. En aquests treballs s'haurien de controlar les variables climàtiques, disposar de totes les variants de població i dissenyar un experiment encarat a conèixer les causes d'aquestes diferències en la data de floració.

Una altra qüestió que queda per resoldre és l'existència o no de diferències en la mida o el pes sec dels capítols florals així com en el nombre de flors o de llavors entre les diferents poblacions. Caldria ampliar aquest estudi amb un altre que analitzi aquesta possibilitat i descrigui les possibles diferències entre les poblacions de floració primerenca i tardana pel que fa a la relació creixement-reproducció i els possibles efectes que pot hi causar un escalfament del clima.

7-PROGRAMACIÓ TEMPORAL

7-PROGRAMACIÓ TEMPORAL.

Taula 1. Programació temporal del projecte

Tasques realitzades	Abril '09	Gener '10	Febrer '10	Març '10	Abril '10	Maig '10	Juliol '10	Agost '10	Setembre '10	Octubre '10	Maig '11	Juny '11	Juliol '11
Elecció del projecte i dels continguts													
Incorporació al grup de recollida de mostres													
Recerca d'informació bàsica													
Ordenació de mostres per a posterior anàlisi													
Anàlisis preliminars de mostres de prova													
Anàlisis de les mostres al laboratori													
Introducció de les dades recollides a l'ordinador													
Redacció parts preliminars del projecte													
Anàlisi de resultats													
Redacció de la memòria													
Reunions amb el tutor													
Preparació de la defensa													
Defensa oral													

Font: Elaboració pròpia

8-PRESSUPOST

8- PRESSUPOST

Taula 2. Pressupost del projecte

DESPESES DIRECTES			
RECURSOS HUMANS			
Concepte			Subtotal (hores)
Recerca documental			40
Treball laboratori			560
Tractament de dades			30
Redacció			230
Reunions tutor del projecte			16
Total (hores)			876
Cost associat = 14 €/hora			Subtotal (€)
			12.264€
Desplaçaments (Origen: Cerdanyola del Vallès)			
Concepte		Preu bitllet (€)	Subtotal (€)
155 dies de treball de laboratori (Bellaterra)		1,40 €	217 €
5 reunions amb el tutor del projecte (Bellaterra)		1,40 €	7 €
Total (€)			224 €
TOTAL RECURSOS HUMANS			12.488€
RECURSOS MATERIALS			
Concepte	Quantitat	preu/unitat (€)	Subtotal (€)
Impressió del treball	113	0,04	4,52
Còpies	3	4,52	13,56
Còpies en CD	3	0,5	1,5
Enquadernació	4	2	8
TOTAL RECURSOS MATERIALS			27,58 €
DESPESES DIRECTES TOTALS			12.515 €

DESPESES INDIRECTES	
Instal·lacions i equipaments	Total (€)
20% de les despeses directes	2.503 €

Total despeses directes	12.515 €
Total despeses indirectes	2.503 €
Pressupost base	15.018 €
IVA (16%)	2.402,88 €
PRESSUPOST TOTAL	17.420,88 €

Font: Elaboració pròpia

9- DOCUMENTACIÓ GRÀFICA

9-DOCUMENTACIÓ GRÀFICA.

9.1. TAULES.

Taula 3.

Alçada (Alt.) i paràmetres climàtics (temperatura mitjana anual (T mitj.), mitjana de temperatures mínimes del mes més fred (T mín.), i mitjana de temperatures màximes del mes més càlid) d'acord amb l'estacionalitat de la seva floració (Floració) en les localitats amb les poblacions estudiades.

Localitat	Alt (m)	T mitj. (°C)	T mín. (°C)	T màx. (°C)	Floració
GAR	250	15,1	2,9	29,6	primerenca
ALT	25	16	6	25,9	primerenca
PLL	225	14,2	0,8	30,3	primerenca
PSJ	150	16	4,4	29,6	primerenca
GIN	95	16	3,6	31,2	tardana
GRE	160	15,7	2	32,4	tardana
MAN	350	13,8	0,3	30,5	tardana
CAM	460	13,6	-0,2	31,7	tardana
EST	775	11	-2,8	28,2	tardana

Font: Estiarte 2010.

Taula 4.

Ordenació de les poblacions de *Globularia alypum* segons el seu ritme de desenvolupament floral.

A la taula s'indiquen les fases de desenvolupament així com l'error estàndard de cada mostreig.

	GAR avg FD	GAR se FD	PLL avg FD	PLL se FD	ALT avg FD	ALT se FD	PSJ avg FD	PSJ se FD	GIN avg FD	GIN se FD	GRE avg FD	GRE se FD	MAN avg FD	MAN se FD	CAM avg FD	CAM se FD	EST avg FD	EST se FD
JUL_08	2,735	0,114	2,768	0,174	2,967	0,228	3,023	0,215	2,455	0,122	2,470	0,089	2,017	0,175	2,378	0,080	2,168	0,071
SET_08	6,050	0,225	5,285	0,236	4,496	0,331	4,503	0,113	3,035	0,107	3,295	0,122	3,000	0,166	3,130	0,087	2,928	0,180
NOV_08			7,467	0,133					4,148	0,162	4,670	0,098	4,175	0,100	4,648	0,089	4,253	0,138
DES_08									4,950	0,069	4,878	0,074	4,730	0,101	4,768	0,067	4,380	0,213
MAR_09											7,008	0,146	5,330	0,290	5,360	0,145	4,820	0,255

Font: Elaboració pròpia.

Taula 5.

Resultats de la fase de desenvolupament de les poblacions en el mostreig de NOV_08 i DES_08. La columna situada a la dreta fa referència a l'increment de fase de desenvolupament experimentat per cadascuna de les poblacions en aquest període.

	NOV_08	DES_08	INC
GIN avg FD	4,1483	4,95	0,8017
GRE avg FD	4,67	4,878	0,2075
MAN avg FD	4,175	4,73	0,555
CAM avg FD	4,6475	4,768	0,12
EST avg FD	4,2525	4,38	0,1275

Font: Elaboració pròpia

9.2. FIGURES.

Fig. 2. Capítol floral i flor de *Globularia alypum*. En la figura s'aprecia, d'esquerra a dreta i de dalt a baix la bràctea interna ovada i ciliada, el capítol terminal , una unitat de bràctea interna amb flor desenvolupada i, finalment, el calze pentàmer amb dents llargament ciliades.

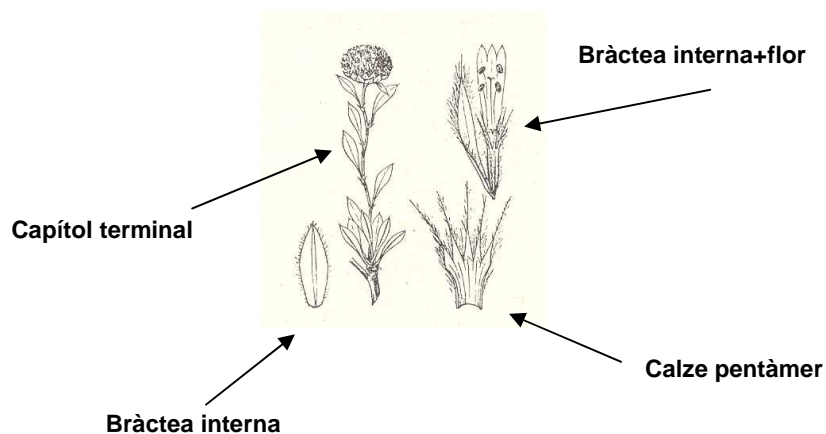


Fig 3. Àrea de distribució de *Globularia alypum*. En la figura s'aprecia com es pot trobar a tota la regió mediterrània, les Illes Balears i Madeira. A Catalunya es troba a les comarques marítimes (del Rosselló al Montsià) tot i que és rara a les contrades silícies; penetra fins a la Fenolleda, a la Garrotxa, a Osona, al Berguedà, a l'Alt Urgell, a la Segarra, a la Conca de Barberà, etc.); a l'interior es troba tant al Segrià com al Baix Cinca; també es pot trobar als Prepirineus (Pallars Sobirà, Pallars Jussà i la Noguera). Al País Valencià es troba a les contrades d'hivern temperat del terreny catalanídic (Baix Maestrat, etc.) al terreny diànic (la Marina Baixa, l'Alacantès, etc.) així com al terreny lucèntic (l'Alacantès, Baix Vinalopó, etc.); penetra fins a l'Alcalatén, a la Foia de Bunyol, a la Vall de Cofrents, etc. A les Illes Balears, per la seva banda, és present a Mallorca, Menorca, Eivissa i Cabrera.

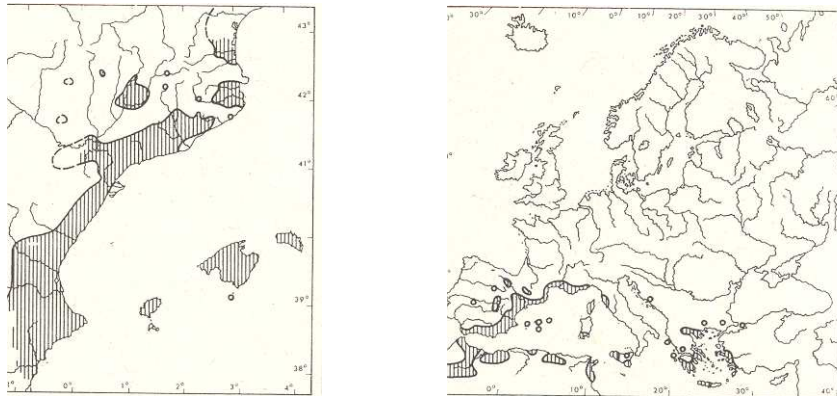


Fig. 4. Mapa de localització de les nou poblacions mostrejades a l'àrea de Catalunya (sistema de referència ED50 UTM zona 31 N). Les localitats han estat el massís del Garraf (GAR), Altafulla (ALT), Pont de Llerca (PLL), Planes de Sant Jordi (PSJ), Ginestar (GIN), La Granja d'Escarp (GRE), Manresa (MAN), Camarasa (CAM) i Estamariu (EST).

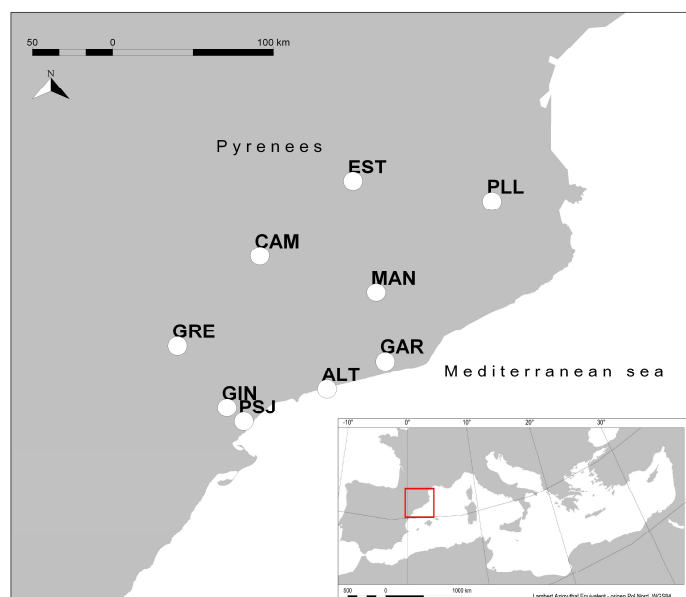


Fig. 5. Evolució del desenvolupament floral de *Globularia alypum* en el temps a cada localitat estudiada. La gràfica resumeix els resultats dels estadis de desenvolupament floral de les poblacions de *Globularia alypum* de cada localitat amb la data en els diferents mostrejos realitzats. Els mostrejos realitzats van ser els de juliol de 2008 (JUL_08), setembre de 2008 (SET_08), novembre de 2008 (NOV_08), desembre de 2008 (DES_08), març de 2009 (MAR_09) i maig de 2009 (MAI_09). Les poblacions del grup PRIMERENQUES, és a dir el massís del Garraf (GAR), Altafulla (ALT), Pont de Llerca (PLL) i Planes de Sant Jordi (PSJ) es representen en vermell. En blau es representen les poblacions del grup TARDANES, és a dir, Ginestar (GIN), La Granja d'Escarp (GRE), Manresa (MAN), Camarasa (CAM) i Estamariu (EST). Els símbols de cada població s'han mostrat a la part superior del gràfic quan en el mostreig s'ha evidenciat que aquestes poblacions ja han florit.

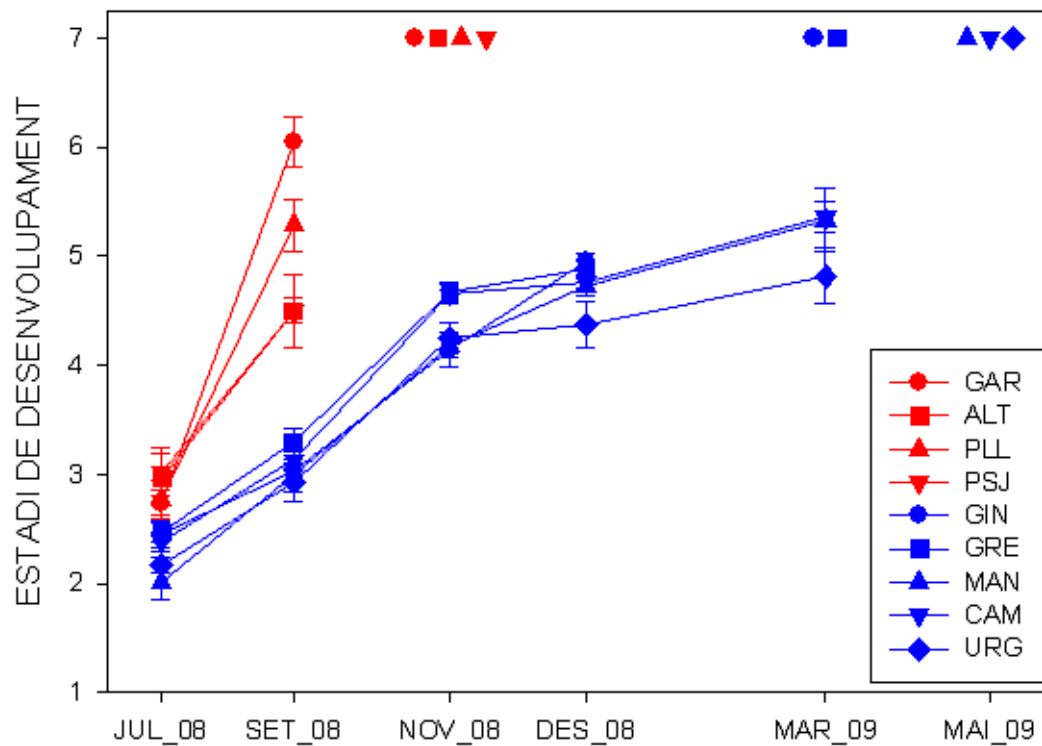


Fig. 6. Evolució del pes sec de *Globularia alypum* en el temps a cada localitat estudiada. La gràfica resumeix els resultats del pes sec de les poblacions de *Globularia alypum* de cada localitat amb la data en els diferents mostrejos realitzats. Els mostrejos realitzats van ser els de juliol de 2008 (JUL_08), setembre de 2008 (SET_08), novembre de 2008 (NOV_08), desembre de 2008 (DES_08), març de 2009 (MAR_09) i maig de 2009 (MAI_09). Les poblacions del grup PRIMERENQUES, és a dir el massís del Garraf (GAR), Altafulla (ALT), Pont de Llerca (PLL) i Planes de Sant Jordi (PSJ) es representen en vermell. En blau es representen les poblacions del grup TARDANES, és a dir, Ginestar (GIN), La Granja d'Escarp (GRE), Manresa (MAN), Camarasa (CAM) i Estamariu (EST). Els símbols de cada població s'han mostrat a la part superior del gràfic quan en el mostreig s'ha evidenciat que aquestes poblacions ja han florit.

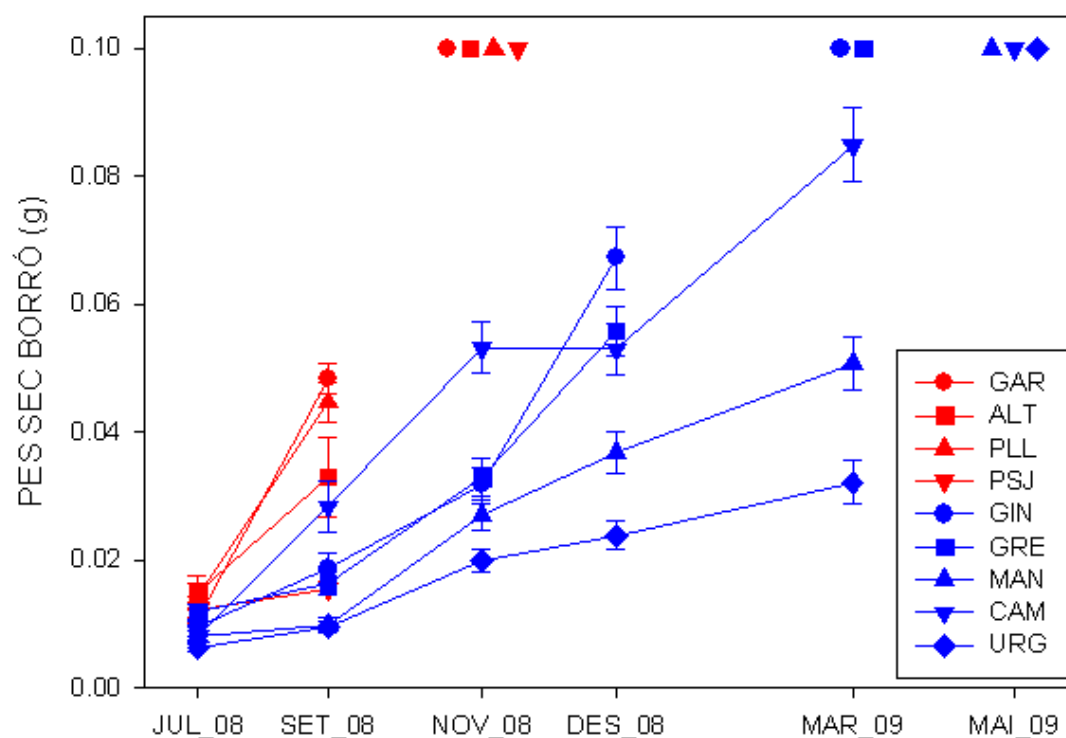


Fig. 7. Evolució de la longitud de la bràctea interna de *Globularia alypum* en el temps a cada localitat estudiada. La gràfica resumeix els resultats de la longitud de la bràctea interna de les poblacions de *Globularia alypum* de cada localitat en els diferents mostrejos realitzats. Els mostrejos realitzats van ser els de juliol de 2008 (JUL_08), setembre de 2008 (SET_08), novembre de 2008 (NOV_08), desembre de 2008 (DES_08), març de 2009 (MAR_09) i maig de 2009 (MAI_09). Les poblacions del grup PRIMERENQUES, és a dir el massís del Garraf (GAR), Altafulla (ALT), Pont de Llerca (PLL) i Planes de Sant Jordi (PSJ) es representen en vermell. En blau es representen les poblacions del grup TARDANES, és a dir, Ginestar (GIN), La Granja d'Escarp (GRE), Manresa (MAN), Camarasa (CAM) i Estamariu (EST). Els símbols de cada població s'han mostrat a la part superior del gràfic quan en el mostreig s'ha evidenciat que aquestes poblacions ja han florit.

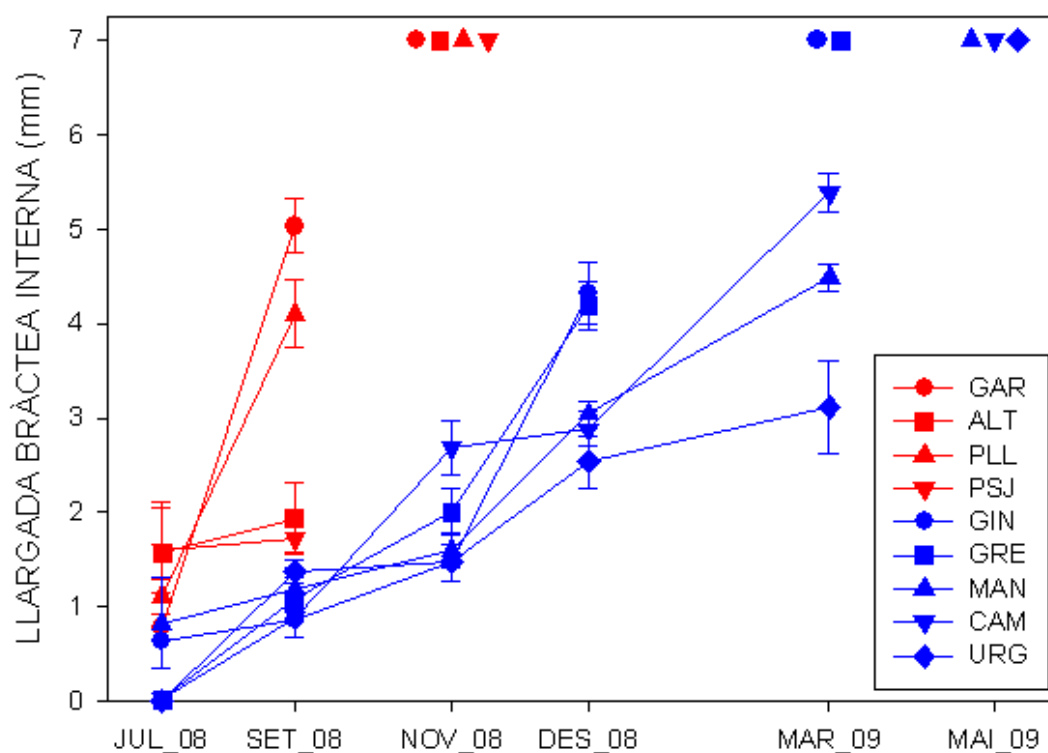


Fig. 8. Comparació entre poblacions de floració primerenca i poblacions de floració tardana pel que fa a l'estadi de desenvolupament en el mostreig de JUL_08. S'aprecia com les poblacions de floració primerenca, és a dir les del massís del Garraf (GAR), d'Altafulla (ALT), Pont de Llerca (PLL) i Planes de Sant Jordi (PSJ) es troben en un estadi de desenvolupament més avançat que les poblacions de floració tardana, és a dir les de Ginestar (GIN), La Granja d'Escarp (GRE), Manresa (MAN), Camarasa (CAM) i Estamariu (EST). Les lletres **a** i **b** expressen la significació estadística en la comparació entre poblacions, on $a > b$.

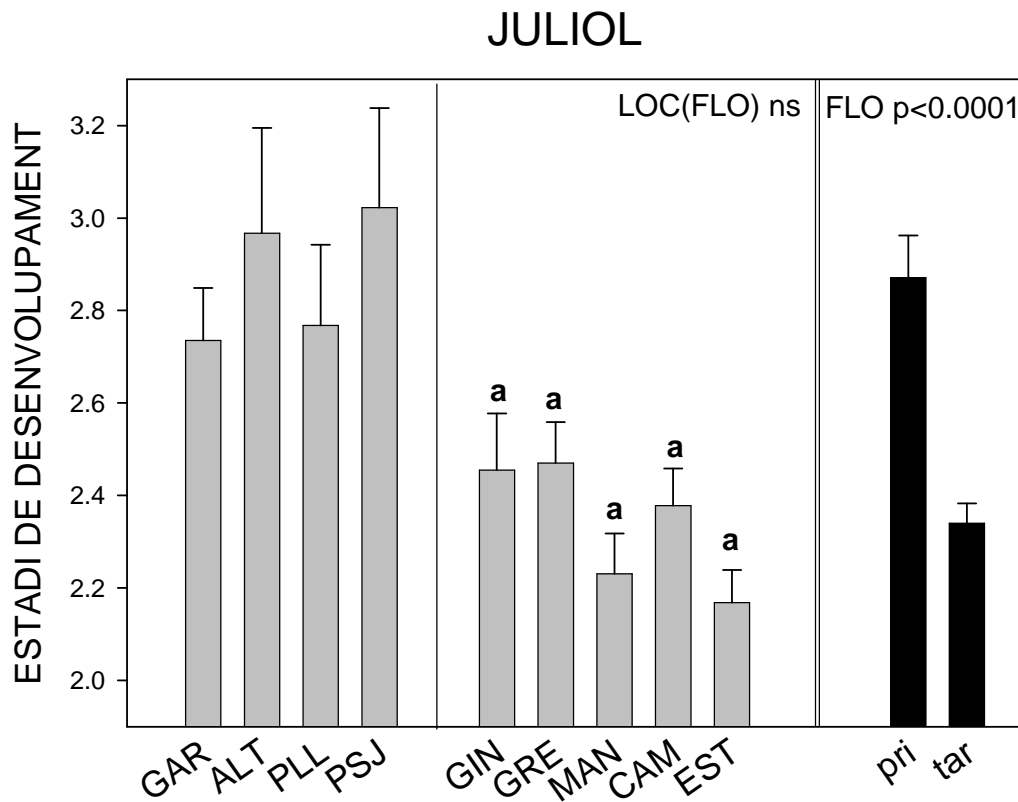


Fig. 9. Comparació entre poblacions de floració primerenca i poblacions de floració tardana pel que fa a l'estadi de desenvolupament en el mostreig de SET_08. S'aprecia com les poblacions de floració primerenca, és a dir les del massís del Garraf (GAR), d'Altafulla (ALT), Pont de Llerca (PLL) i Planes de Sant Jordi (PSJ) es troben en un estadi de desenvolupament més avançat que les poblacions de floració tardana, és a dir les de Ginestar (GIN), La Granja d'Escarp (GRE), Manresa (MAN), Camarasa (CAM) i Estamariu (EST). Les lletres **a** i **b** expressen la significació estadística en la comparació entre poblacions, on $a > b$.

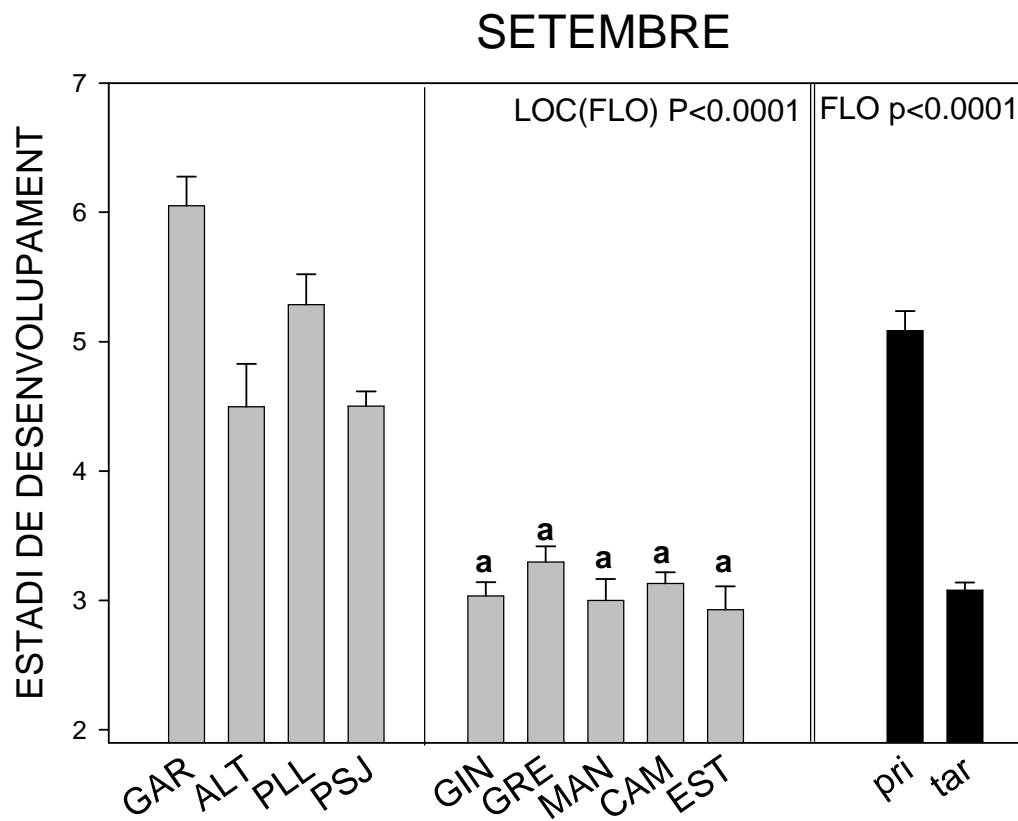


Fig. 10. Estadi de desenvolupament al mes de novembre en les poblacions de floració tardana. Estudi de l'efecte de la "localitat" en l'estadi de desenvolupament, mitjançant un ANOVA d'un factor. Les localitats són les de Ginestar (GIN), La Granja d'Escarp (GRE), Manresa (MAN), Camarasa (CAM) i Estamariu (EST). Les lletres **a** i **b** expressen la significació estadística dels resultats, on $a > b$.

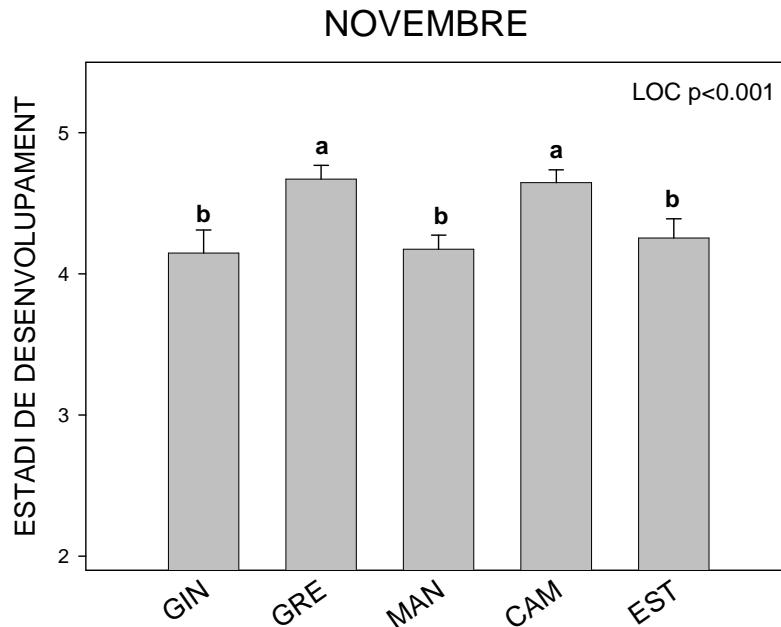


Fig. 11. Estadi de desenvolupament al mes de desembre en les poblacions de floració tardana. Estudi de l'efecte de la "localitat" en l'estadi de desenvolupament, mitjançant un ANOVA d'un factor. Les localitats són les de Ginestar (GIN), La Granja d'Escarp (GRE), Manresa (MAN), Camarasa (CAM) i Estamariu (EST). Les lletres **a** i **b** expressen la significació estadística dels resultats, on $a > b$.

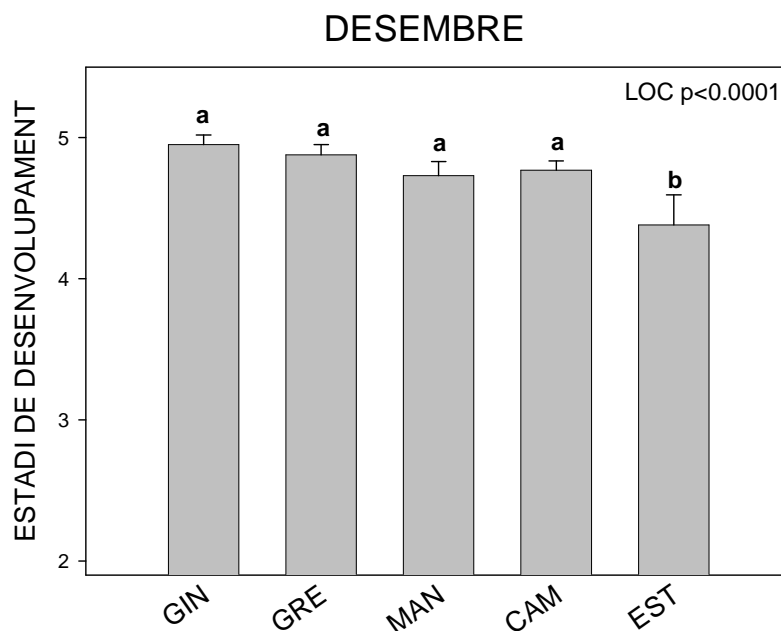


Fig. 12. Estadi de desenvolupament al mes de març en les poblacions de floració tardana. Estudi de l'efecte de la "localitat" en l'estadi de desenvolupament, mitjançant un ANOVA d'un factor. Les localitats són les de Manresa (MAN), Camarasa (CAM) i Estamariu (EST). En aquest estudi ns expressa que els resultats no han donat diferències significatives.

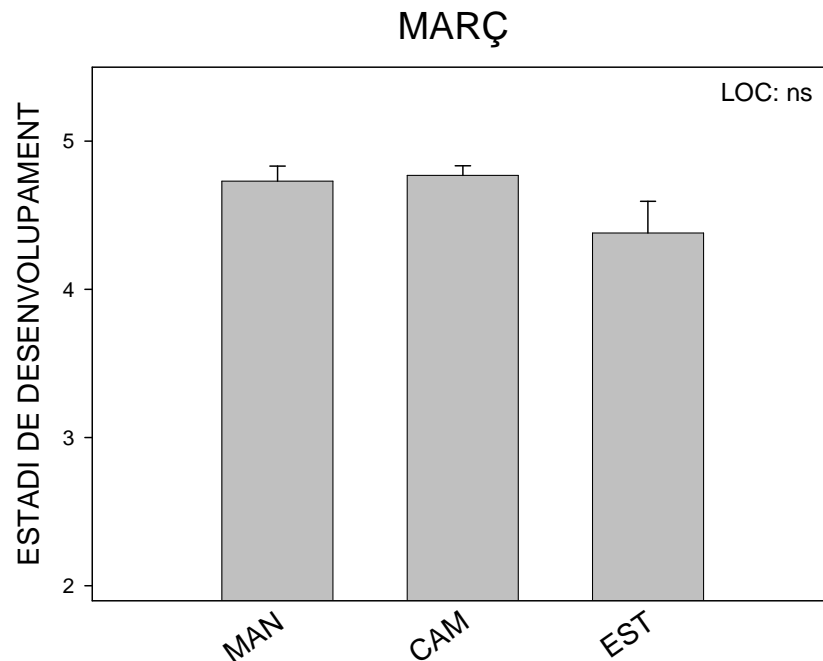


Fig. 13. Relació entre increment de desenvolupament floral i mitjana de temperatures mínimes al mes de desembre. Aquesta relació s'ha realitzat segons el model de correlació per rangs de Spearman. En aquesta gràfica es relaciona l'increment d'estadi de desenvolupament entre els mesos d'octubre i desembre i la mitjana de les temperatures mínimes de desembre (en dècimes de grau centígrad).

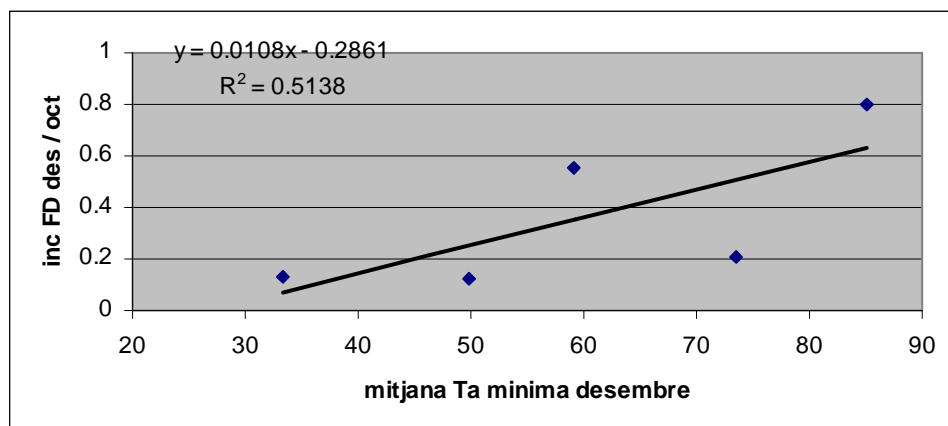
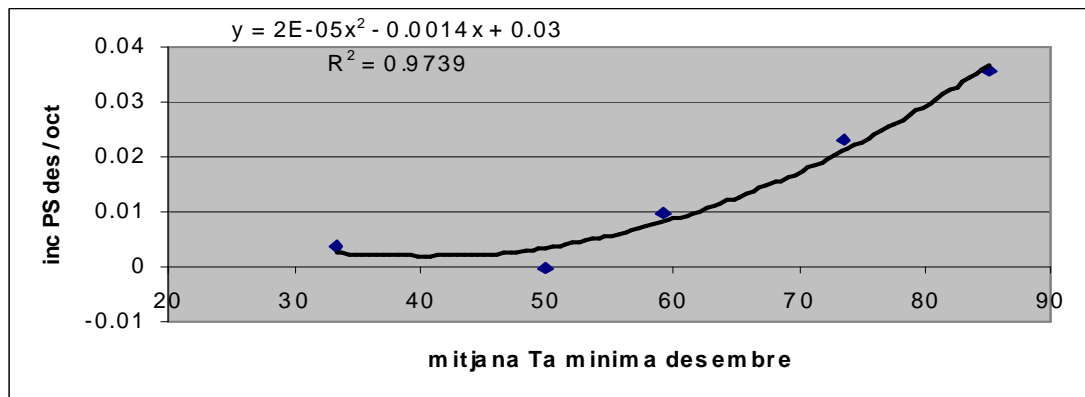


Fig. 14. Relació entre increment de pes sec i mitjana de temperatures mínimes al mes de desembre. Aquesta relació s'ha realitzat segons el model de regressió introduint un terme quadràtic. En aquesta gràfica es relaciona l'increment de pes sec entre els mesos d'octubre i desembre i la mitjana de les temperatures mínimes de desembre (en dècimes de grau centígrads).



10.3. Annexos

10.3.1. Annex 1

El càlcul del nombre de tubs d'assaig que s'han necessitat per emmagatzemar les mostres s'ha obtingut de la següent manera: s'ha multiplicat el nombre d'individus mostrejats a cada localitat pel nombre de localitats mostrejades així com pel nombre d'èpoques de l'any en les quals s'han realitzat els mostrejos.

Així,

- Nombre d'individus mostrejats per a cada localitat i campanya = 10
- Nombre de localitats en les quals s'han recollit mostres de *Globularia alypum* = 9

- Nombre d'èpoques de l'any en les quals s'han recollit aquestes mostres = 4,111*

* Aquest nombre s'ha obtingut després de calcular la mitjana del nombre d'èpoques de l'any en les quals s'han recollit mostres d'entre totes les localitats mostrejades (4 de PSJ + 5 de GIN + 4 de CAM + 3 de GAR + 5 d' EST+ 5 de MAN+ 5 de GRE + 3 d'ALT + 3 de PLL ÷ 9 localitats = 4,111).

Per tant, el nombre de tubs d'assaig que s'han necessitat és el següent:

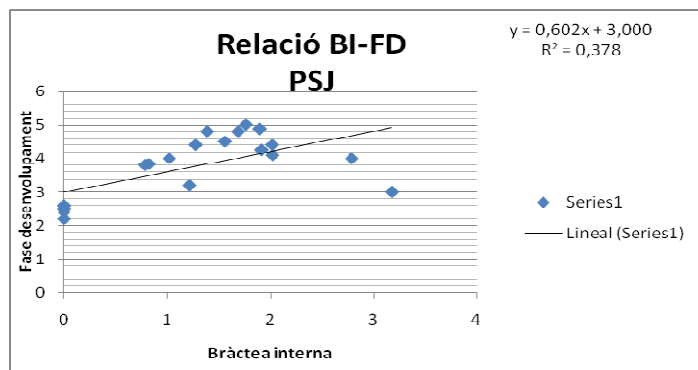
- Nombre de tubs d'assaig = $10 \times 9 \times 4,111 = 370$ tubs.

D'altra banda, si es té en compte que a cada tub hi havia 5 rèpliques de mitjana, podem trobar el nombre de borrons florals de *Globularia alypum* que s'han fet servir per a l'estudi. Això equival a la seva mida mostral N .

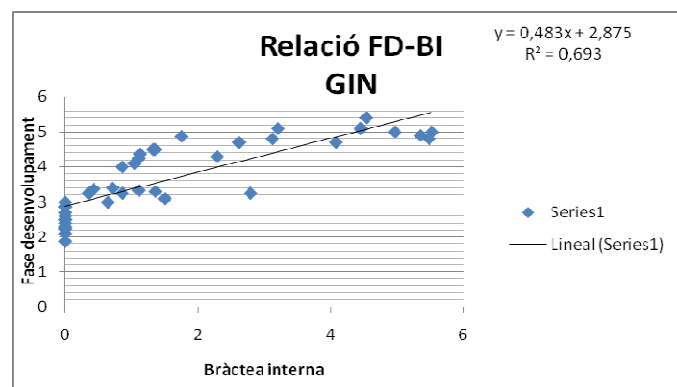
- Mida mostral de l'estudi $N = 370 \times 5 = 1850$.

10.3.2. Annex 2

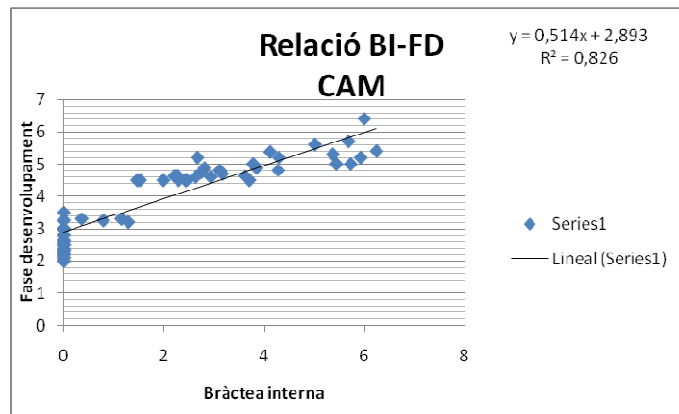
a) Relació entre Longitud de la Bràctea Interna (BI) i l'estadi de desenvolupament (FD) a Planes de Sant Jordi, segons model de regressió lineal:



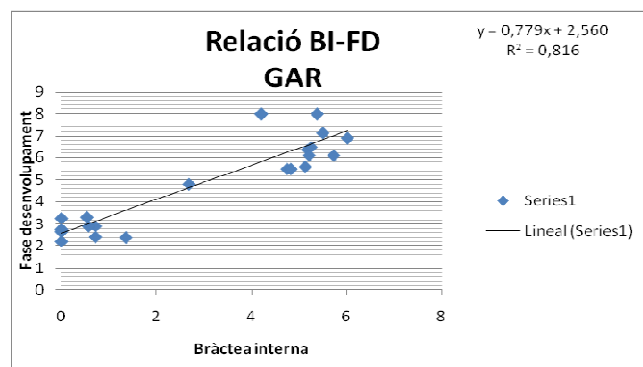
b) Relació entre Longitud de la Bràctea Interna (BI) i l'estadi de desenvolupament (FD) a Ginestar segons model de regressió lineal:



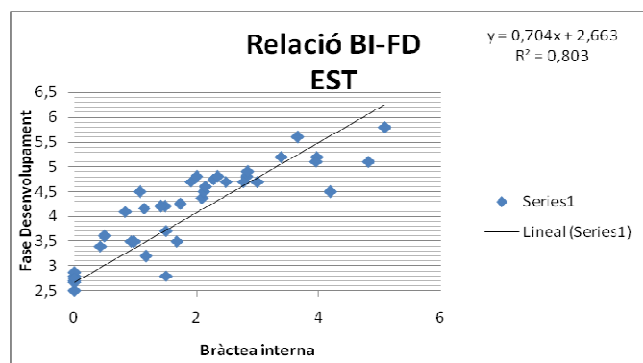
c) Relació entre Longitud de la Bràctea Interna (BI) i l'estadi de desenvolupament (FD) a Camarasa segons model de regressió lineal:



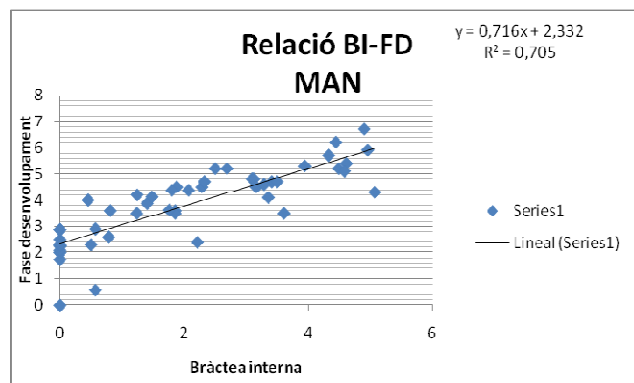
d) Relació entre Longitud de la Bràctea Interna (BI) i l'estadi de desenvolupament (FD) al massís del Garraf segons model de regressió lineal:



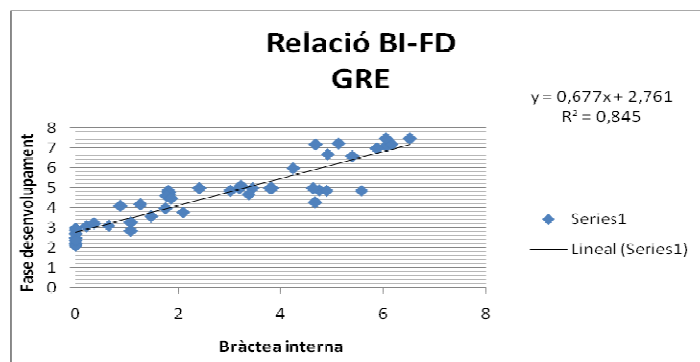
e) Relació entre Longitud de la Bràctea Interna (BI) i l'estadi de desenvolupament (FD) a Estamariu segons model de regressió lineal:



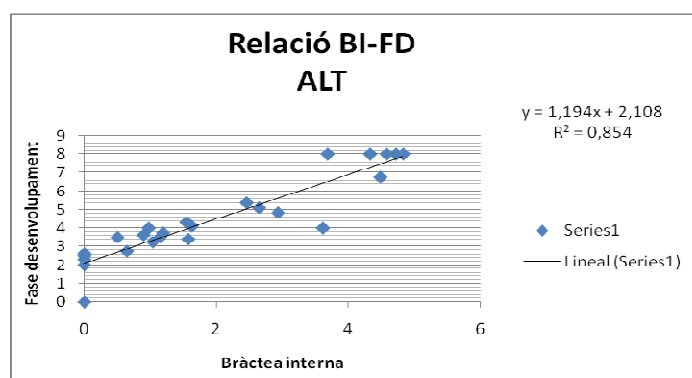
- f) Relació entre Longitud de la Bràctea Interna (BI) i l'estadi de desenvolupament (FD) a Manresa segons model de regressió lineal:



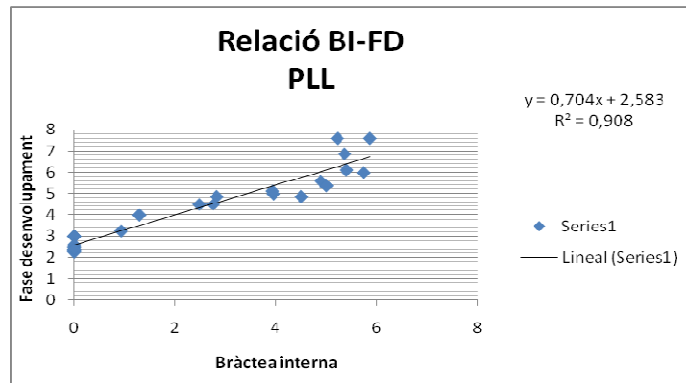
- g) Relació entre Longitud de la Bràctea Interna (BI) i l'estadi de desenvolupament (FD) a La Granja d'Escarp segons model de regressió lineal:



- h) Relació entre Longitud de la Bràctea Interna (BI) i l'estadi de desenvolupament (FD) a Altafulla segons model de regressió lineal:

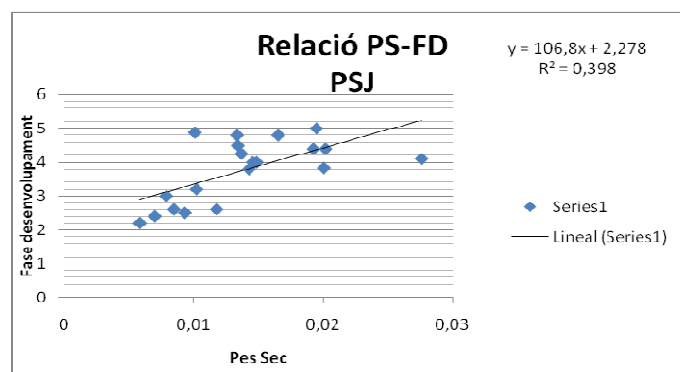


- i) Relació entre Longitud de la Bràctea Interna (BI) i l'estadi de desenvolupament (FD) a Pont de Llerca segons model de regressió lineal:

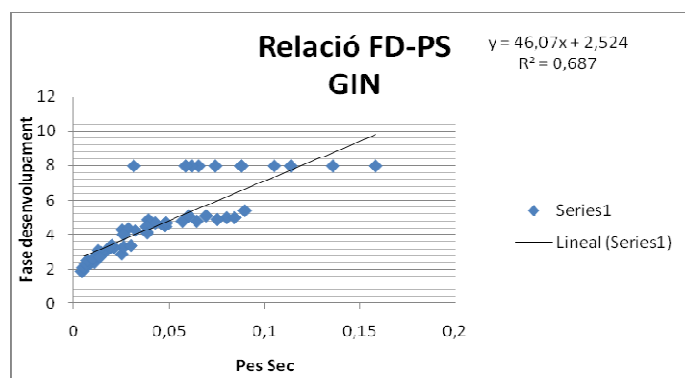


10.3.3. Annex 3

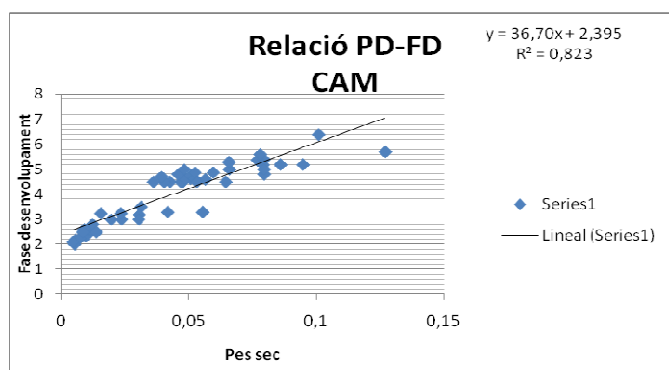
- a) Relació entre Pes Sec (PS) i Estadi de Desenvolupament (FD) a Planes de Sant Jordi segons model de regressió lineal:



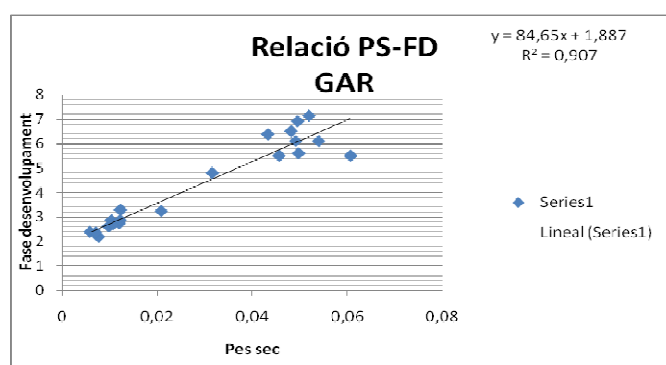
- b) Relació entre Pes Sec (PS) i Estadi de Desenvolupament (FD) a Ginestar segons model de regressió lineal:



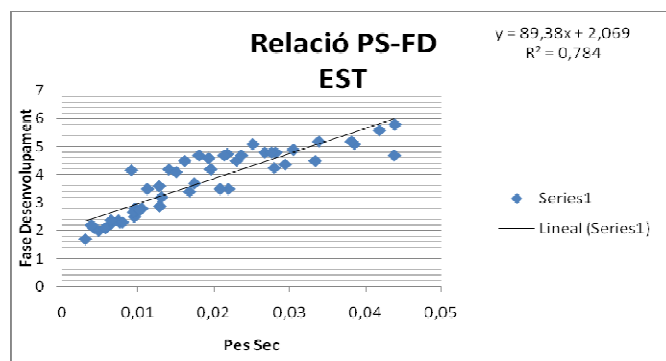
c) Relació entre Pes Sec (PS) i Estadi de Desenvolupament (FD) a Camarasa segons model de regressió lineal:



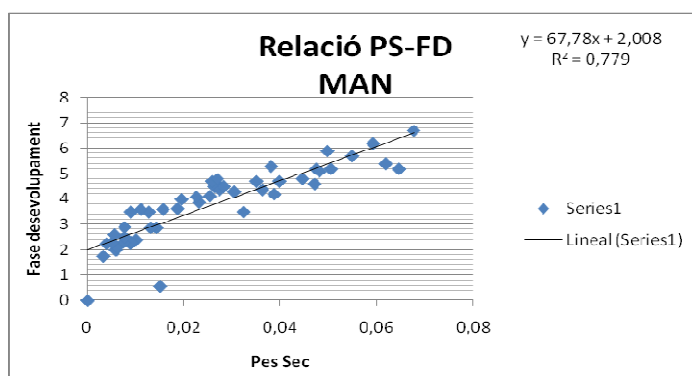
d) Relació entre Pes Sec (PS) i Estadi de Desenvolupament (FD) al massís del Garraf segons model de regressió lineal:



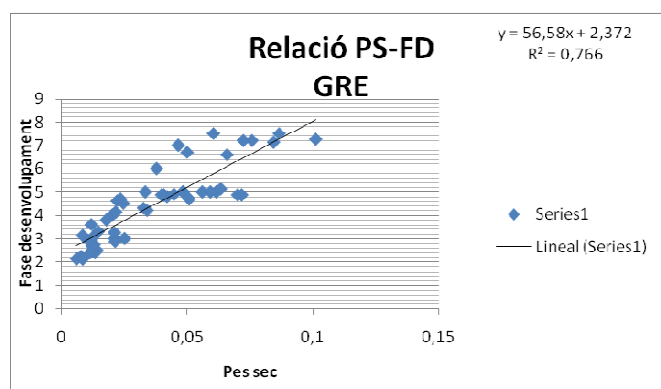
e) Relació entre Pes Sec (PS) i Estadi de Desenvolupament (FD) a Estamariu segons model de regressió lineal:



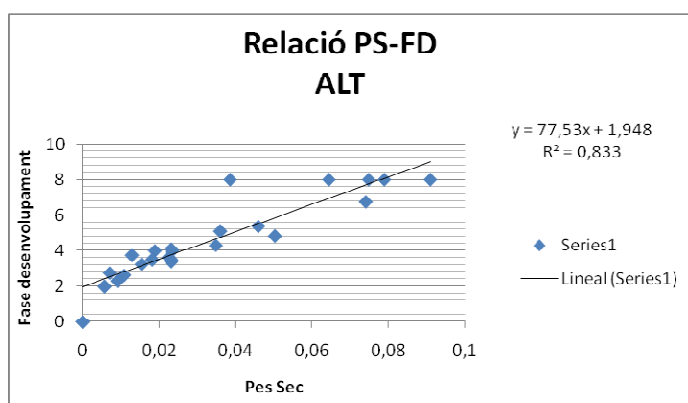
f) Desenvolupament (FD) a Manresa segons model de regressió lineal:



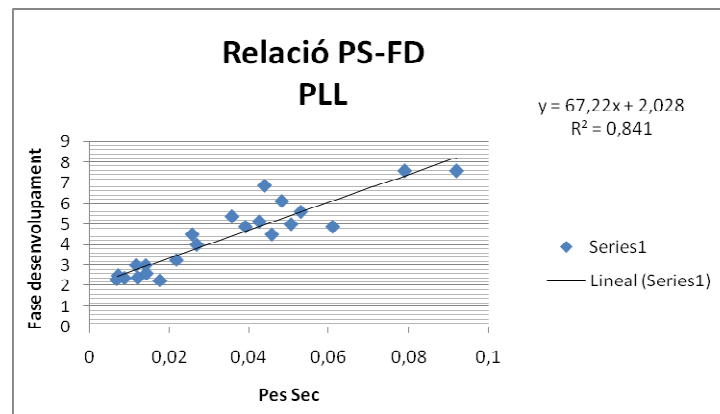
g) Relació entre Pes Sec (PS) i Estadi de Desenvolupament (FD) a La Granja d'Escarp segons model de regressió lineal:



h) Relació entre Pes Sec (PS) i Estadi de Desenvolupament (FD) a Altafulla segons model de regressió lineal:



i) Relació entre Pes Sec (PS) i Estadi de Desenvolupament (FD) a Pont de Llerca segons model de regressió lineal:



10-BIBLIOGRAFIA

10- BIBLIOGRAFIA.

10.1. Referències

- De Bolòs, O; Vigo, J *Història Natural dels Països Catalans*. Editorial Barcino, Barcelona (1995).
- Sales Machado MF; *Plantas Vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares*. editores, S. Castroviejo, Madrid : Real Jardín Botánico. Consejo Superior de Investigaciones Científicas (2001).
- Montserrat Martí, G.; Palacio S.; Milla R. Fenología y características funcionales de las plantas leñosas mediterráneas a Valladares F (ed) *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante* (129-162). Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A., Madrid (2004).
- Catro- Diez, P; Montserrat-Marti G (1998); *Phenological pattern of fifteen Mediterranean phanerophytes from Quercus ilex communities of NE-Spain*. Plant Ecology 139: 103-112.
- Floret, CH; Galan MJ, Le Floch E, Leprince F, Romane F (1989) France. In Orshan G (ed) *Plant Pheno-Morphological Studies in Mediterranean Type Ecosystems*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. Pp 9-97.
- Reeves, PH; Coupland G (2000); *Response of plant development to environment: control of flowering by daylength and temperature*. Curr Opin Plant Biol 3: 37-42.
- Simpson, GG; Gendall AR, Dean C (1999); *When to switch to flowering*. Annu Rev Cell Dev Biol. 15: 519-550.
- Orshan, G; *Plant pheno-morphological studies in Mediterranean type ecosystems*. Kluwer Academic (1989).
- Izco, Jesús; *Botánica*. McGraw-Hill – Interamericana (1997).
- Nicotra, A.B; Atkin O, Bonser SP, Davidson AM, Finnegan EJ, Mathesius U, Poot P, Purugganan MD, Richards CL, Valladares F & Van Kleunen M (2011). *Plant phenotypic plasticity in a changing climate*. Trends in Plant Science. Cell Press.
- Margaris, N S (1981); *Adaptive strategies in plants dominating mediterranean-type ecosystems*. Pp 309-315 a Di Castri F, Goodall W i Specht LR. *Mediterranean-type shrublands*. Elsevier. Amsterdam.
- Mooney, HA; Dunn EL (1970). *Convergent evolution of Mediterranean climate evergreen sclerophyll shrubs*. Evolution 24:292-303.
- Mitrakos, K (1980); *A theory for Mediterranean plant life*. Acta Oecol 1:245-252.

- Orshan, G (1989). *Plant pheno-morphological studies in Mediterranean type ecosystems*. Kluwer Acad. Pub, Dordrecht.
- Chuine I (2010). *Why does phenology drive species distribution?* Phil Trans R Soc B 365: 3149-3160.
- Estiarte, M; Puig G, Peñuelas J (2011). *Large delay in flowering in continental versus coastal populations of Mediterranean shrub, Gobularia alypum*. International Journal of Biometeorology. IJBM-D-10-00208R1. CREAM.
- Prieto, P; Peñuelas J, Ogaya R, Estiarte M (2008). *Precipitation-dependent Flowering of Globularia alypum and Erica multiflora in Mediterranean Shrubland Experimental Drought and Warming, and its Inter-annual Variability*. Annals of Botany 102: 275-285.
- Cleland, E; Chuine I, Menzel A, Mooney HA, Schwartz MD (2007). *Shifting plant phenology in response to global change*. TRENDS in Ecology and Evolution 22 (7).
- Peñuelas, J; Filella I, Comas P (2002). *Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in Mediterranean region*. Global Change Biology 8: 531-544.
- Peñuelas, J; Filella I (2001). *Responses to a Warming World*. Science 294 793-794.
- Ninyerola, M; Pons X, Roure JM (2005). *Atlas Climático Digital de la Península Ibérica. Metodología y aplicaciones en bioclimatología y geobotànica*. ISBN 932860-8-7. Universitat Autònoma de Barcelona, Bellaterra.
- Lloret, F; Peñuelas J, Estiarte M (2005). *Effects of vegetation canopy and climate on seedling establishment in Mediterranean shrubland*. Journal of Vegetation Science 16:67-76.
- Ladining, U; Wagner J (2009). *Dynamics of flower development and vegetative shoot growth in the high mountain plant Saxifraga bryoides*. Flora 204:63-73.
- Björkman, T; Pearson, KJ (1997). *High temperature arrest of inflorescence development broccoli (Brassica oleracea var. italica)*. Journal of Experimental Botany 49 (318): 101-106.
- Fudano, T; Hayashi T, Yazawa S (2009). *Dynamic Model of Dry Matter Distribution and Stabilization in the Number of Buds per Inflorescence by Overnight Supplemental Lighting in Sweet Pea (Lathyrus odoratus)*. Japan. Soc. Hort. Sci 78 (3):344-349.
- Soler, L; Cuevas, J (2009). *Early flower initiation allows ample manipulation of flowering time in cherimoya (Annona cherimola)*. Scientia Horticulturae 121:327-332.
- Fiebig, AE; Proctor JTA, Posluszny U, Mur DP. *The North American ginseng inflorescence: development, floret abscission zone, and the effect of ethylene*.

Adreces d'interès

- <http://herbarivirtual.uib.es/cat-med/especie/4785.html/> <Àrea de botànica. Departament de Biologia. Universitat de Les Illes Balears>.
- <http://biodiver.bio.ub.es/biocat/homepage.html/> <Banc de Dades de Biodiversitat de Catalunya>.
- <http://www.opengis.uab.es/wms/ACDC/index.html/> <Atles Climàtic Digital de Catalunya>.
- <http://www.idescat.cat/pub/?id=aec&n=217&t=2008&x=7&y=5> <Anuari Estadístic de Catalunya: IDESCAT>.